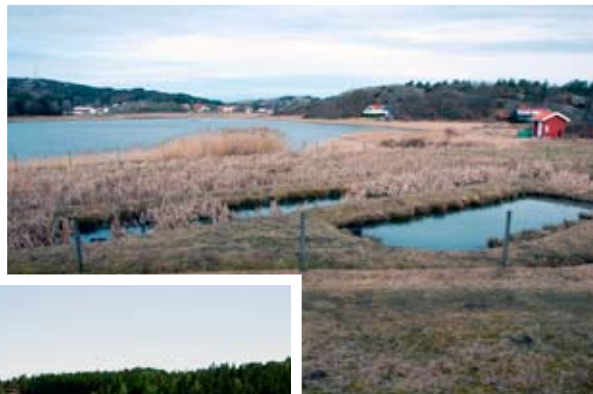




Länsstyrelserna



Fyra fallstudier för att minska övergödningen i Västerhavets vattendistrikt

*Fjällbacka inre skärgård – Norra/Mellersta Bohuslän
Fjordsystemet innanför Orust och Tjörn – Södra Bohuslän
Inre Kungsbackaffjorden – Norra Halland
Skälderviken – Södra Halland/Nordvästra Skåne*

För mer information kontakta:

Länsstyrelsen i Västra Götalands län
vattenvårdsenheten

Tel: 031-60 50 00

Rapporten ingår i rapportserien för Västra Götalands län

Rapport: 2009:51

ISSN: 1403-168X

Text: Carina P. Erlandsson, Hans Lann, Elin Ruist, Ulf Rönner,
Ingela Isaksson, Markus Klingberg m.fl.

Omslagsfoton:

mitten: övergödd havsvik i norra Bohuslän (Jan-Erling Ohlson)

höger överst: reningsbassänger som eftersteg för enskilda avlopp (Maria Hübinette)

höger nederst: kantzon intill åker (Elin Ruist)

vänster överst: vägtrummor (Jan-Erling Ohlson)

vänster nederst: nyanlagd våtmark i åkerlandskap (Elin Ruist)

Utgivare: Länsstyrelsen i Västra Götalands län, vattenvårdsenheten

Du hittar rapporten på vår webbplats

www.lansstyrelsen.se/vastragotaland under Publikationer



Länstyrelserna

Västra Götaland
Halland
Skåne

Fyra fallstudier för att minska övergödningen i Västerhavets vattendistrikt

*Fjällbacka inre skärgård – Norra/Mellersta Bohuslän
Fjordsystemet innanför Orust och Tjörn – Södra Bohuslän
Inre Kungsbackafjorden – Norra Halland
Skälderviken – Södra Halland/Nordvästra Skåne*

Förord

I Naturvårdsverkets regleringsbrev för 2007 (regeringsbeslut 26, 2006-12-21) avsattes medel för Vattenmyndigheten i Västerhavsdistriktet för att genomföra åtgärd 1 (Finn de områden som göder havet mest) i Aktionsplan för havsmiljön (Naturvårdsverkets rapport 5563). Vattenmyndigheten för Västerhavsdistriktet fick uppdraget i januari 2007 och tilldelades 3 miljoner för att genomföra uppdraget. Samma uppdrag gavs till vattenmyndigheterna för distrikten Södra Östersjön och Norra Östersjön. Rapporten har tagits fram i nära samarbete med regeringsuppdraget 51b (2007) ”Restaurering av övergödda havsvikar”.

Redovisning av uppdraget till Miljödepartementet gjordes av länsstyrelsen i Västra Götalands län i december 2008.

Arbetet har huvudsakligen genomförts av Carina Erlandsson, Hans Lann, Ingela Isaksson, Elin Ruist, Markus Klingberg och Ulf Rönner. En styrgrupp och en referensgrupp har följt arbetet. Författarna till de olika fallstudierna framgår i respektive fallstudie.

Denna rapport, som är en av två för ”Finn de områden som göder havet mest”, har även utnyttjat resultat från regeringsuppdragen 51c (2007) ”Minskad påverkan på havsmiljön från enskilda avlopp” och 22 (2008) Återskapa våtmarker i odlingslandskapet”.

Karin Pettersson

Biträdande vattenvårdsdirektör

Länsstyrelsen i Västra Götalands län

Vattenmyndigheten för Västerhavets vattendistrikt

Innehållsförteckning:

I

Förord.....	1
1. Inledning	4
2. Metod	5
3. Modellberäkningar	6
3.1. Beräkningar av transporten från land och atmosfärsdeposition ..	6
3.1.1. Beskrivning	6
3.2. Beräkningar av vattenkvaliteten i kustvattnet	9
SMHI:s Kustzonmodellsystem – HOME Vatten.....	9
Vikmodellen	10
4. Åtgärder för minskat läckage av näringsämnen	16
4.1. Miljöanpassad odling inom jordbruket.....	16
Kväveutlakning från jordbruksmark	16
Fosforutlakning från jordbruksmark.....	16
Miljökrav vid individuell prövning av jordbruksföretag	18
Åtgärder mot kväveförluster	19
Åtgärder för ett minskat fosforläckage från åkermark.....	20
Övrigt.....	21
4.2. Våtmarker	21
4.3. Skydds zoner	23
4.4. Årestaurering	24
4.5. Avfasning av diken	25
4.6. Skogen och skogsbruket	26
4.7. Punktkällor	26
Reningsverk.....	26
Industrier.....	27
Enskilda avlopp	29
5. Åtgärder för att minska effekten av övergödning	30
5.1. Vägbankar.....	30
5.2. Muddring.....	30
5.3. Musselodlingar	31
5.4. Sjögräsängar	32
5.5. Skörd av alger	32
5.6. Syresättning	33
5.7. Mottagningsanläggningar för toa-avlopp från fritidsbåtar	33
5.8. Fiskvägar	34
6. Slutsatser.....	36
6.1. Åtgärder på land	36
Diffust utsläpp från mark och deposition från atmosfär.....	36

Punktutsläpp.....	39
6.2. Effekter av åtgärder	40
7. Referenser	44

II Fjällbacka inre skärgård

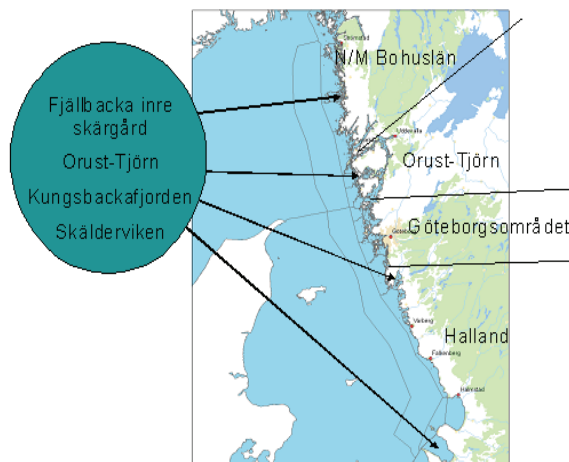
III Fjordsystemet innanför Orust och Tjörn

IV Inre Kungsbackafjorden

V Skälderviken

1. Inledning

Denna rapport är en del av redovisningen av regeringsuppdraget *Finn de områden som göder havet mest (Västerhavet)*, och regeringsuppdraget 51b, *Inventera behovet av och möjligheterna till restaurering av övergödda havsvikar och kustnära sjöar i Västerhavets vattendistrikt*. För att studera åtgärder mot transporter av näringsämnen till havet och även åtgärdernas effekter har vi valt ett antal fallstudieområden. För fallstudieområdena har vi utarbetat åtgärds paket för att minska belastningen från land till havsbassängerna baserat på den nuvarande belastningen (2006). Åtgärds paketets sammansättning har baserats på bedömningar av vilka belastningsminskningar som skulle kunna vara möjliga att genomföra inom de närmaste åren, under förutsättning att medel avsätts för åtgärder. Sådana bedömningar har gjorts med hjälp av kommunintervjuer, tillgängliga åkerarealer för våtmarker och skyddszoner och andra åtgärder inom jordbruket, möjlig förbättring av enskilda avlopp, utbyggnad av kväverening på kommunala avloppsreningsverk, och förändrade utsläpp från industrier. För beräkning av möjliga åtgärder inom jordbruket har våra projekt samarbetat med i första hand länsstyrelsen i Västra Götalands läns projekt kring våtmarker inom regeringsuppdrag 22 (2008). För att ytterligare förstärka kunskap och underlag har vi även samarbetat med regeringsuppdrag 51c (2007) angående enskilda avlopp.



Figur 1. De fyra delområdena med tillhörande fallstudieområden.

Fyra fallstudieområden är utvalda baserat på kuststräckans varierande karaktär: 1) Fjällbacka inre skärgård, 2) de tolv kustvattenförekomsterna innanför Orust och Tjörn, 3) Kungsbackafjorden, 4) Skälderviken. Fallstudierna innefattar kustvattenförekomsterna och dess avrinningsområden. Områdena är tänkta att representera tillföljande kuststräckor: Norra/Mellersta Bohuslän, Södra Bohuslän, Norra Halland, Södra Halland/Nordvästra Skåne. Kriterierna för val av fallstudieområden är att tillförseln av näringsämnen från land är relativt stor, dvs. att kustvattenförekomsterna innefattas bland de 10 mest belastade i Västerhavetsdistriktet. För vissa av områdena har kriteriet även varit att området är känsligt för tillförsel av näringsämnen.

2. Metod

I våra fallstudier har vi använt SMED-data* som gör det möjligt att få en källfördelning av fosfor och kvävetillförseln till havet från enskilda delavrinningsområden. Förutom modelldata har regional miljöövervakningsdata från kustmynnande vattendrag från 1989 till 2008 i Bohuslän använts, se bl.a. Lagesson m.fl. 2005.

Dessutom har vi använt oss av SMHI:s nyligen utvecklade kustzonmodellsystem för vattenkvalitetsberäkningar, HOME Vatten. HOME Vatten är ett interaktivt modellsystem för mark, sjöar, vattendrag och kustvatten och är speciellt anpassat till att vara ett beräkningssystem för vattenförvaltningen. Kustvattenförekomsternas antal från Idefjorden i norr till Skälderviken i söder är 109 stycken (2008).

HOME Vatten beräknar näringsbelastningen från land på de olika kustvattenförekomsterna och belastningens effekter på havsbassängernas vattenkvalitet i form av näringskoncentration, klorofyllkoncentrationer m.m. Vi får även källfördelning av näringstillförseln och alltså information om vilka sektorer (jordbruk, övrig mark, reningsverk, enskilda avlopp, och industri etc) som bidrar mest till att göda våra hav. Modellen används även för att simulera åtgärds paketens effekt på vattenkvaliteten i skärgården. Flera olika simuleringar för vart och ett av de fyra fallstudieområdena har genomförts.

Detaljuppgifter om delavrinningsområden i SMED:s databaser samt de långa mätserierna i vattendragen, och SMHI:s HOME Vattenmodell har gjort det möjligt att få en uppfattning om de områden som göder havet mest och källfördelningarna ger upplysningar om var åtgärder kan vara effektiva att sätta in. Tolkningen av modellarbetets resultat måste göras med försiktighet, men utgör dock ett verktyg som tillsammans med våra mätresultat för närvarande utgör bästa tillgängliga underlagsmaterial.

* SMED står för Svenska MiljöEmissionsData, och är namnet på det konsortium inom vilket de fyra organisationerna IVL Svenska Miljöinstitutet AB, SCB (Statistiska centralbyrån), SLU (Sveriges lantbruksuniversitet), och SMHI (Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut) samarbetar.

3. Modellberäkningar

Grunden är det arbete som SMED (Svenska MiljöEmissionsData) bedrivit för Sveriges underlag till HELCOMs 5:e Pollution Load Compilation (PLC5). I rapporten Näringsbelastningen på Östersjön och Västerhavet 2006, rapport 5815 från Naturvårdsverket, har metodiken för beräkning av näringsbelastningen från land redovisats. I kustzonsmodellsystemet har de kustnära PLC5-områdena delats i mindre delar för att näringstransporten till varje kustvattenförekomst skall kunna beräknas.

3.1. Beräkningar av transporten från land och atmosfärsdeposition

Beskrivning

Transporten av kväve och fosfor från land och atmosfär har i modellen källfördelats enligt följande:

- Läckage från åkermark, bakgrund respektive antropogent
- Läckage från skog
- Läckage från myr
- Läckage från övrig öppen mark (t ex betesmark)
- Utsläpp från kommunala avloppsreningsverk, >200 pe
- Utsläpp från industrier
- Utsläpp från enskilda avlopp
- Utsläpp av dagvatten
- Atmosfärsdeposition på sjöar
- Atmosfärsdeposition på hav

För uppgifter om beräkningsunderlag för punktkällor, enskilda avlopp och dagvatten hänvisas till Naturvårdsverkets rapport 5815.

Vi har genomgående endast använt de data som anger nettoläckage och nettoutsläpp till havet, dvs. efter retention i mark, sjöar och vattendrag. Hur retentionsberäkningarna har gått till redovisas i Naturvårdsverkets rapport 5815.

Atmosfäriskt nedfall

Atmosfäriskt nedfall på sjöar och hav inom området har för kväve beräknats med SMHI:s Match-modell som använder sig av de mätstationer som finns i Sverige, bl.a. i Hensbacka i Munkedals kommun. Där är kvävenedfallet stort till följd av den stora nederbörden. Nitrat-kvävet härrör huvudsakligen från utsläpp från

förbränning och ammonium-kvävet från avdunstning från gödsel. Nedfallet från atmosfären över marken omsätts i marken och inkluderas i de läckagesiffror som används i beräkningarna från de olika markslagen. För fosfor används ett och samma nedfall på sjöar för hela Sverige, 4 kg P/km² år. Siffran är ett medianvärde från mätningar vid 19 stationer 2006-2007.

Skog och myr

Skog och myr fungerar som fälla såväl för fosfor som för kväve. Växande skogar tar upp kväve och en del lagras i marken. I beräkningarna har årstyphalten av totalkväve för skog och öppen mark satts till 0,43 mg/l för tillrinningsområdet till Västerhavet (Naturvårdsverket 2006) I södra Sverige betyder det att skogen läcker upp till ca 4 kg N/ha.

Jordbruksmark

I den följande kortfattade beskrivningen av belastningen från jordbruksmark har uppgifter i SNV rapport 5815 använts. För en utförligare beskrivning hänvisar vi till rapporten.

I modellen för jordbruksmark eller åkermark har man skilt på bakgrundsutlakning och den utlakning som ett aktivt jordbruk bidrar med. För kväve har utlakning från extensiv vall betraktats som bakgrundsbelastning från jordbruksmark. Extensiv vall har definierats som en vall som inte gödslas eller skördas. Sett över större delen av året anses den extensiva vallen vara en kvävefälla. I beräkningar för jordbruksmark i vårt Fjällbacka-exempel har jordbrukets eller åkermarkens bakgrundsläckage blivit 7,4 kg/ha, sålunda något mindre än kvävenedfallet från atmosfären, medan det tillkommande antropogena bidraget blivit 12,1 kg/ha. I båda fallen har hänsyn tagits till att det sker en reduktion av kväveinnehållet i mark och vatten innan kvävet når havet.

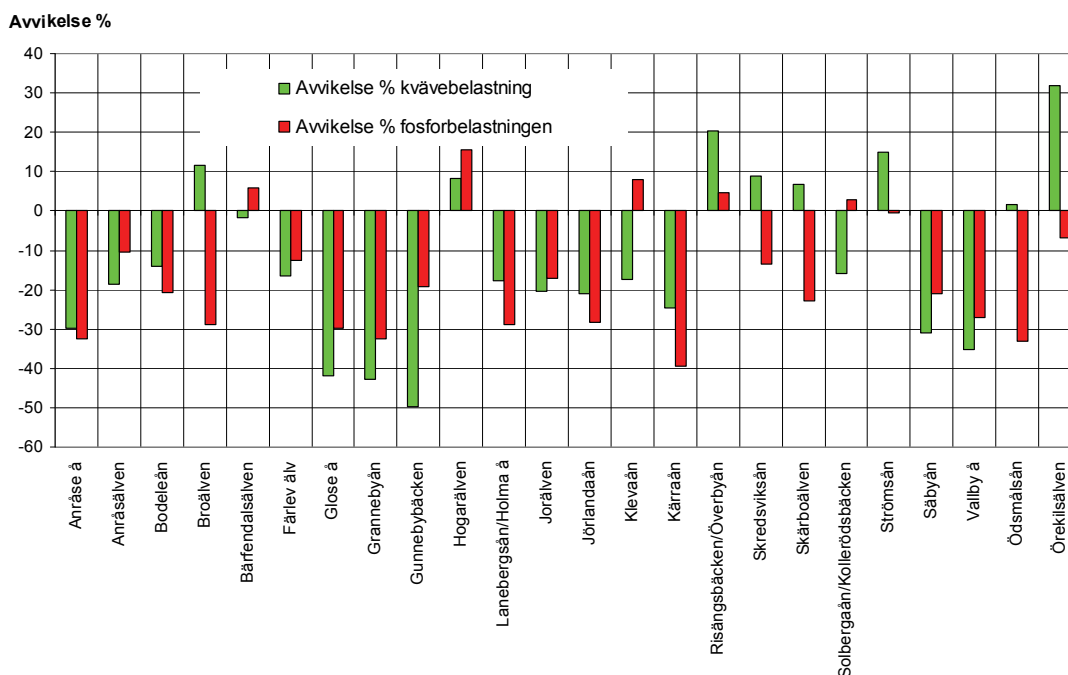
Bakgrundsbelastningen från jordbruksmark för fosfor har i modellen beräknats som ogödslad och oskördad insådd träda. Eftersom en kraftig uppgödsling av fosfor har skett under 1960-, 70- och 80-talen har modellen antagit en nivå på P-HCL i marken för bakgrunden som motsvarar 1950-talet. Eftersom denna nivå är jämförbar med den lägsta fosforklassen i matrisen, så har fosforklass ”låg” använts genomgående vid beräkningen av bakgrund. För övrigt har beräkningen gjorts med hänsyn till läckageregion och lutningsklass. Hela Bohuslän med undantag av övre delen av Bäveåns avrinningsområde tillhör läckageregion 90, medan övre delen av Bäveån tillhör läckageregion 51. Beräkningarna visar att byte av läckageregion inom samma avrinningsområde kan ge svårtolkade resultat.

Beräkningar av bidraget från åkermarken har baserats på Block- och IAKS-data, som anger grödfördelning (Jordbruksverket 2005). Jordbruksmarken har indelats i 15 grödklasser. För både N- och P-beräkningarna har läckageregion, gröda och jordart använts, men för P-beräkningarna tillkommer P-HCL-klass i matjorden och lutningsklass. Läckagekoefficienter för kväve och fosfor har beräknats (Naturvårdsverket 2006 a och 2006 b).

Validering

Bakom PLC5-beräkningarna ligger SMHIs hydrologiska modell, HBV, kopplat till läckage av fosfor och kväve från diffusa källor och punktkällor, HBV-NP-modellen. Validering av modellen är redovisad i Naturvårdsverkets (2006 a) HBV-

NP-beräkningarna har jämförts med transporter beräknade utifrån mätdata i de nationellt övervakade flodmynningarna för perioden 1985–2004. Flodmynningsdata har inte använts vid kalibreringen av retentionen i PLC5-beräkningarna utan enbart som valideringsdata bortsett från 3 mindre vattendrag där det enbart finns flodmynningsdata. Till Skagerrak uppges endast 32 % av avrinningsområdet vara integrerad med mätvärden, medan det för Kattegatt är 86 % av avrinningsområdet. Den låga siffran för Skagerrak beror mest på att Bohuslän är relativt kuperat med många små vattendrag och det finns få stora vattendrag i Skagerraks avrinningsområde vilka räknas som huvudavrinningsområden och som ingår i flodmynningsprogrammet. Rapporten anger att avvikelsen i summa avrinning mellan HBV-beräkningen och flodmynnings-beräkningarna är 1 % (HBV-beräkning/flodmynningsberäkning) beräknat på hela Sverige för perioden 1985–2004. För Skagerrak är denna siffra 22 % och modellens avrinning är alltså relativt överskattad. Avvikelsen i summa transport till havet mellan simulerad transport och flodmynningsberäkningarna är -3 % för kväve och -25 % för fosfor summerat för alla flodmynningsvattendrag, dvs. den simulerade transporten ligger lägre än den uppmätta. Att de simulerade transporterna är något underskattade anges bero på det inte är möjligt att fånga in den naturliga dynamiken för halterna vid retentionssimuleringen då den diffusa belastningen bygger på typhalter. För en mer detaljerad genomgång av valideringen av modellen hänvisar vi till rapporten Naturvårdsverket (2006 a).



Figur 2. Diagrammet visar hur många procent PLC-5 beräkningarna avviker från beräknade transporter av kväve och fosfor utifrån miljöövervakningsdata och vattenföringsuppgifter för 25 vattendrag i Bohuslän. Transporterna av kväve och fosfor i vattendragen är beräknade som ett medelvärde för åren 2005-2007.

Läckaget av fosfor i PLC5-beräkningarna är anmärkningsvärt högt i läckageregion 9 (Bohuslän). Mot bakgrund av detta samt att kalibreringsdata för området är bristande har PLC5-beräkningarna validerats i (Djodjic et al. 2008). PLC5-

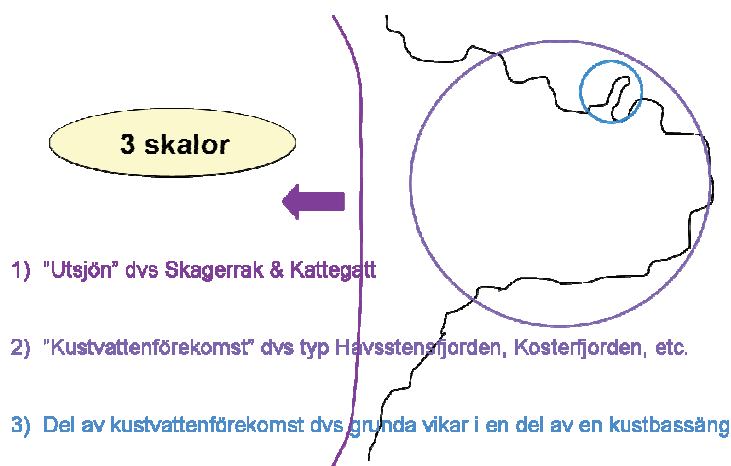
beräkningarnas resultat är jämförda med uppmätta halter av fosfor i 13 st mindre vattendrag i Bohuslän under perioden 1996-2003, och modellberäkningarna konstateras som rimliga, men en underskattning i PLC-5 beräkningarna jämfört med mätdata för området konstateras också i rapporten (Djodjic et al. 2008). Diagrammet i figur 2 visar hur mycket PLC-5 beräkningarna underskattar läckaget i jämförelse med data från bohusbäckarna. Utifrån denna jämförelse är den totala belastningen till Skagerrak i medeltal underskattad i modellberäkningarna med ungefär 5 % och 14 % för fosfor.

Den stora variation som karakteriserar fosforläckaget är svår att fånga upp i datamodeller då fosforläckaget är mycket varierande i tid och styrs till största delen av nederbördsförhållanden. Att fosfor underskattas särskilt mycket i PLC-5 beräkningar kan bero på att data bygger på långtidsnormaliserade värden där topparna i fosfortransporten inte fångas upp (Brandt pers.com.).

3.2. Beräkningar av vattenkvalitén i kustvattnet

SMHI:s Kustzonmodellsystem – HOME Vatten

För beräkning av koncentrationer av hydrografiska parametrar i kustvattnet på kustvattenförekomstskala används i HOME Vatten: 1) En 1-dimensionell modell PROBE (Svensson 1998) som beräknar vattentransporten och koncentrationen av salt och temperatur och 2) den biogeokemiska modellen SCOBİ (Marmefelt m. fl. 2000), som beräknar de grundläggande biogeokemiska processerna för att kunna beskriva dynamiken av näringsämnen, växtplankton och syrgas. Beräkningarna har hög vertikal upplösning, men för att beräkna den horisontella variationen delas modellområdet in i olika delbassänger (kustvattenförekomster), se figur 3. Genom att beskriva varje kustvattenförekomst vertikala volymsvariation fångas dess geografiska egenskaper. Kustvattenförekomsterna kopplas samman genom sund, varigenom vattenutbyte kan ske (Marmefelt et al., 2004).



Figur 3. De tre geografiska skalor som vi i vårt arbete har valt att dela in havet i.

Validering

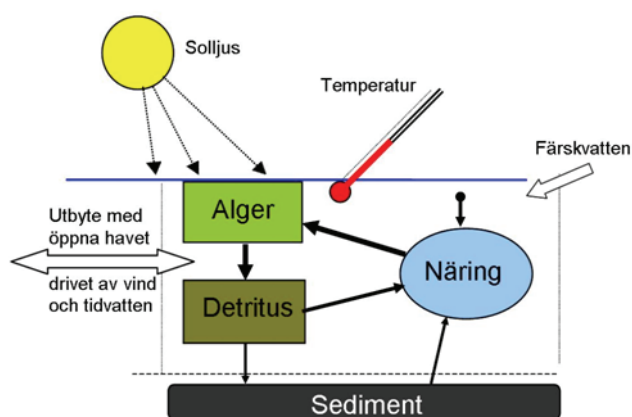
Valideringen är gjord kvalitativt genom visualiseringar i grafer och granskning av resultaten. I valideringen av modellen (Marmefelt et al., 2004) jämförs modelldata

med månatliga observationer. Modellen ger tillfredställande resultat framför allt när det gäller temperaturen i ytvattnet. Övriga parametrar ger ett relativt bra resultat. I valideringen ges inga siffror på avvikelser. Det konstateras istället att modellen är bra, vid sämre överensstämmelse beskrivs istället processen som modellen ska simulera.

Vattenutbytet är viktigt för beräkning av koncentrationer av t.ex. näringsämnen över och under salthaltssprångskiktet och i tröskelfjordarnas bassängvatten. Den fysiska modellen (PROBE) drivs av data beräknade med en utsjömodell. I Arneborg (2004) har utbytestiderna för vattnet i Gullmarsfjorden beräknats från observationsserier med hög tidsupplösning (10 min). De uppehållstider som beräknas i artikeln är längre än vad modellen beräknar. Detta indikerar att modellen eventuellt överdriver vattenutbytet mellan bassänger. Intensivstationer för drivning och validering av modellen är önskvärt för att förbättra modellresultaten ytterligare. I våra fallstudier använder vi modellen för att uppskatta storleksordningen på förändringen i närsaltskoncentrationen till följd av åtgärder på land. Vi förlitar oss alltså inte på exakt beräknade värden.

Vikmodellen

Syftet med modellen är att beskriva tillväxt och nedbrytning av grönalger i en grund vik med hjälp av en processbaserad matematisk modell. Modellen utgör en utveckling av tidigare framtagna modeller inom ramen för projektet EU-life algae (Eilola & Stigebrandt, 2001; Öberg, 2005). Modellen simulerar tillståndet i en vik med en matta av gröna makroalger av släktet *Ulva* flytande i vattnet (figur 4). Viken har ingen horisontell upplösning, och den vertikala upplösningen är begränsad till vattenmassan och sedimentlagret. Utvecklingen i viken styrs av den biologiska aktiviteten hos alger samt av de fysiska transporterna in och ut ur vattenmassan. Tillväxthastigheten hos grönalgerna begränsas av näringstillgången, av tillgång på ljus, samt av omgivningstemperaturen. Dessutom finns en begränsning av totala mängden alger per ytenhet. Näringsupptaget modelleras med en intern pool (Droop; Michaelis-Menten) och tillväxten ges av tillgänglig näring i denna pool.



Figur 4. En schematisk bild av flöden och närings-pooler i modellen.

Ljustillgången begränsar algernas tillväxt vid svagt ljus, och vid starkt ljus hämmas också tillväxten. Temperaturbegränsningen av algernas tillväxt grundar sig på

litteraturvärden av tillväxt vid olika temperaturer, där den optimala temperaturen ligger i intervallet 15-20 °C.

Vattenutbytet mellan viken och vattnet utanför grundar sig dels på en balans mellan en vinddriven ytström och en returström driven av vattenståndsskillnaden mellan viken och vattnet utanför, dels på den storskaliga förändringen av vattenståndet i området beroende på lufttryck och tidvatten. Det vinddrivna utbytet tar även hänsyn till vindens riktning samt avståndet till stranden vinkelrätt ut från vikens mynning. Nedbrytning av döda alger sker med en fixerad hastighet, där det mesta bryts ned inom en månad. Större delen av näringen går direkt tillbaka till vattenmassan medan en tiondel förs över till sedimentet. Sedimentflödet av näring till vikens vatten styrs av halten organiskt kol i sedimentets ytskikt, så att det är ett större flöde ut ur sedimentet i en vik där kolhalten är högre.

Den nuvarande modellversionen innehåller längd, bredd, djup och geografisk belägenhet för 72 vikar längs västkusten från Askimsfjorden i söder till Kosterfjorden i norr. De utvalda vikarna ingår i det flyginventeringsprogram över utsatta vikar som pågått inom Bohuskustens Vattenvårdsförbund sedan 1998 (Figur 5).

Modellen har tidigare körts med oorganiskt kväve som näringsämne för grönalgerna. Den nuvarande versionen har anpassats för att även kunna köras med oorganiskt fosfor, vilket ger en större flexibilitet. Vid körning av modellen för någon av de utvalda vikarna används månadsvis uppmätta data över näringsämnen och vattentemperatur från den eller de närmast belägna av Bohuskustens vattenvårdsförbunds mätstationer för hydrografiska data (Figur 5). För 35 av vikarna har också näringstillförsel genom avrinning från närliggande vattendrag inkluderats.

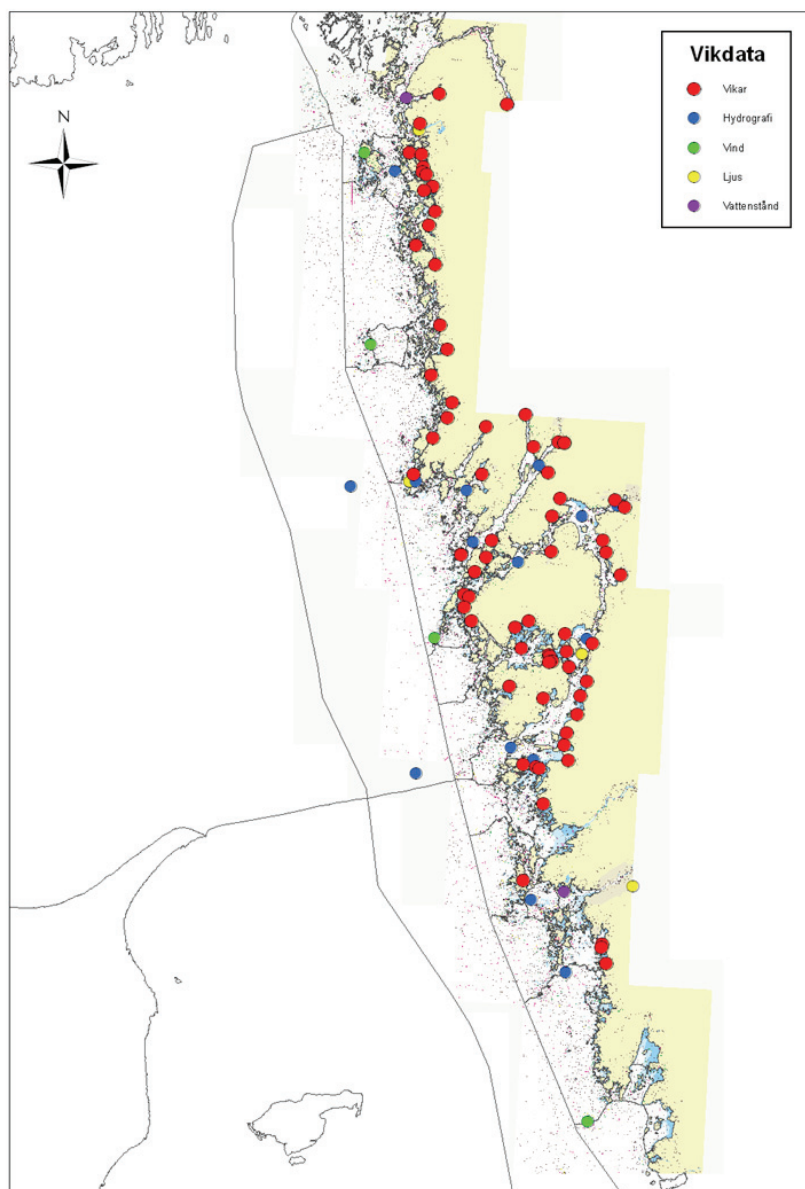
Den vindhastighet och -riktning som används i det vinddrivna vattenutbytet kommer från fyra av SMHI:s meteorologiska stationer utmed Bohuskusten. Vattenståndet grundar sig också på SMHI:s mätningar. Även här är det fyra stationer, men med annan belägenhet. Vindmätningarna är gjorda var tredje timme medan vattenståndet uppmätts varje timme för den aktuella perioden. Värden på solstrålningen i den aktuella tillämpningen kommer från modellvärden framtagna för Strömstad, Smögen, Stenungsund och Göteborg med SMHI:s STRÅNG-modell.

De mätstationer som använts för hydrografi, vind och vattenstånd är de mest närbelägna som finns, men de ligger inte i direkt anslutning till de utvalda vikarna. De månadsvisa mätningarna från hydrografistationerna har dessutom interpolerats för att kunna användas i modellen. Detta gör att kortvariga pulser och händelser på mindre skala utanför vikarna inte kan återges fullt ut i simuleringarna. Det är dock av mindre betydelse då resultaten från modellen i första hand analyseras på säsongsbasis.

Hälften av vikarna ligger i omedelbar anslutning till ett vattendrag med tillgång till uppmätta näringsämneskoncentrationer. Dessa har då antagits tillföra näring till viken i förhållande till sitt flöde. För 17 av vattendragen finns tillgång till data på totalkväve och oorganiskt kväve (nitrit, nitrat, ammonium) samt totalfosfor och oorganiskt fosfor (fosfat), och dessa har då kunnat användas direkt i modellen. I de fall då endast mätningar av totalkväve och totalfosfor funnits tillgängligt har dessa värden räknats om till oorganiskt kväve och fosfat. För oorganiskt kväve har den

månadsvisa andelen från de 17 vattendragen beräknats, för fosfat har en fast omräkningsfaktor använts.

Storleken på vikarna varierar från cirka 1 till 100 hektar och djupet från 0,2 till 2 meter. I modellen antas vikarna ha ett rektangulärt utseende med fastställd längd och bredd. Vikens mynning kan vara smalare än dess bredd, vilket då försvårar vattenutbytet. Eftersom djupet är såpass begränsat har vattenståndsvariationer en stor betydelse för näringsdynamiken i viken, då dess volym förändras mycket av en ändrad vattennivå.



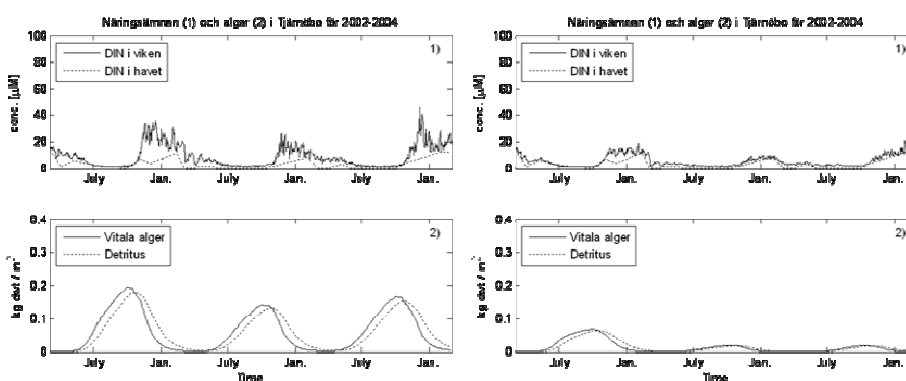
Figur 5. Karta över läget för de vikar som valts ut för modellsimulering samt de mätstationer som använts för att ge omgivningsdata.

Modellresultat och diskussion

Modellen har använts i den nuvarande tillämpningen för att simulera tillväxten av grönalger i ett sjuttioal vikor längs Bohuskusten för perioden 2004-2006, dels med aktuella data, dels som en simulering av effekten av olika restaureringsåtgärder. Sådana åtgärder kan vara att ta bort det översta sedimentlagret i vikarna, förändra vattenutbytet genom att öppna upp vägbankar, eller att minska näringstillförseln på annat sätt. Modellresultaten kan då användas som en del av beslutsunderlaget för föreslagna åtgärder.

Den valda tidsperioden för modellsimuleringarna (2004-2006) grundar sig på tillgången till mätningar av oorganiska näringsämnen i 14 av de bohuslänska vattendragen. Då mätningar av dessa började först 2004 har denna period använts för samtliga simuleringar, vilket underlättar jämförelser mellan olika vikor.

Medelvärdena av de modellerade täckningsgraderna motsvarar i stort sett de uppmätta verkliga förhållandena, men variationen är betydligt större bland de flygfotograferade värdena. Algerna i modellen har en betydligt lugnare tillvaro utan konkurrens om näringen än under verkliga förhållanden, betning av herbivorer eller tillfälliga händelser som kan störa tillvaron förekommer inte i modellen. Flygfotograferingen är också utförd för några vikor i taget under en tioårsperiod medan modellresultaten avser samma period för alla vikor, vilket bidrar till en större variation.



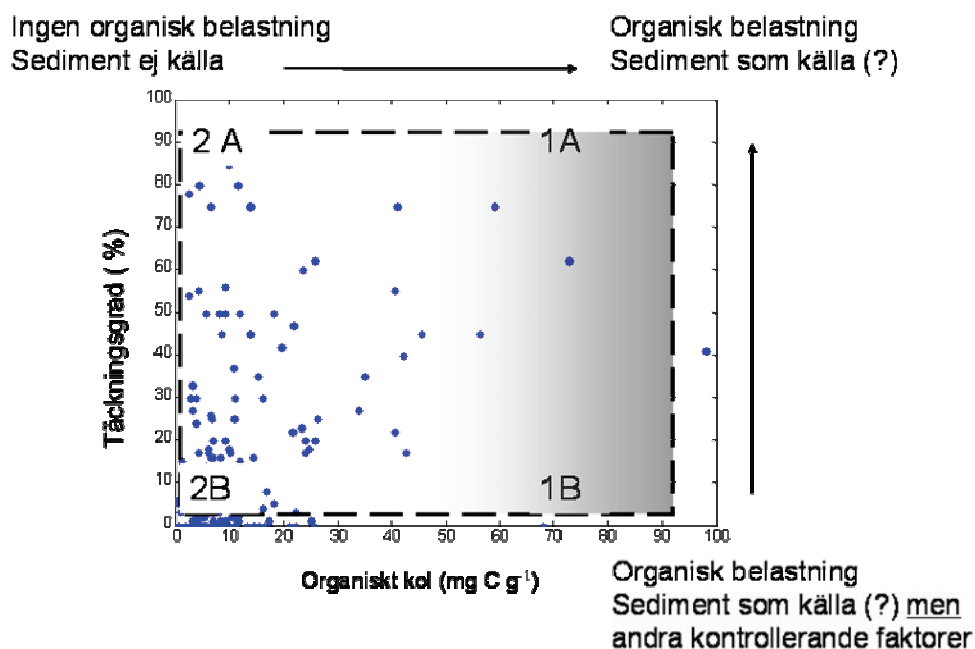
Figur 6. Två simuleringar med vikmodellen. Till vänster normalt flöde av oorganiskt kväve ur sedimentet, till höger är flödet ur sedimentet reducerat till en hundradel efter ett tänkt borttagande av sedimentytan.

Simuleringen i figur 6 ovan visar att borttagning av det översta skiktet av sedimentet kan verka för att minska mängden grönalger i vikor utsatta för stor tillväxt av sådana alger.

För 37 av de flygfotograferade vikarna finns dessutom halten av organiskt kol uppmätt. Figur 7 visar att huvuddelen av vikarna följer ett samband mellan ökad kolhalt i sedimentet och större mängd alger i viken. Några vikor har dock hög täckning av alger men låg kolhalt i sedimentet. Det kan röra sig om autotrofa system där näringstillförseln från yttre källor dominerar.

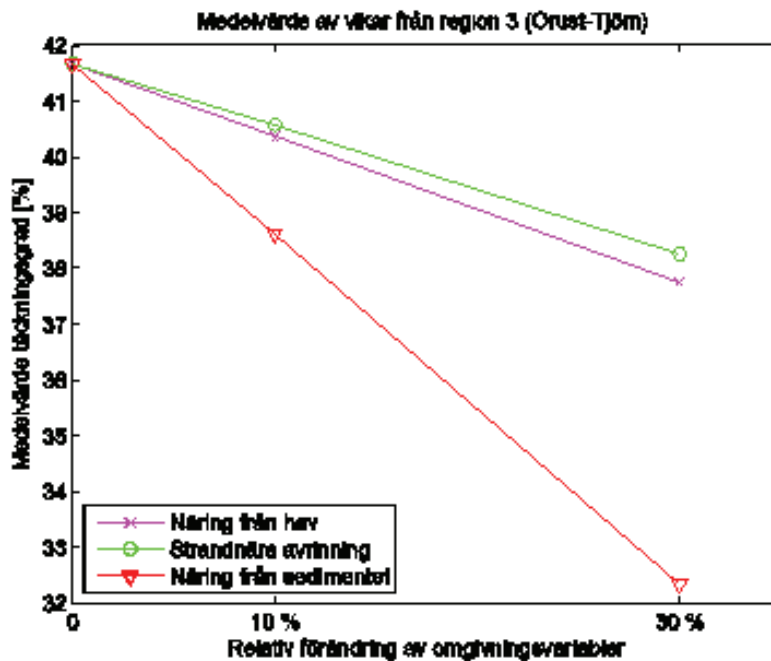
Allteftersom den organiska andelen i sedimentet ökar (vikar i område 1A och B) finns förutsättningar för en förmodad ackumulation av organiskt material, vilket å andra sidan inte finns för vikor med egenskaper i område 2A och 2B (Fig. 6). Eftersom det inte finns en dokumenterad mängd fintrådiga alger i område 1B antas

vikar i detta område vara utsatta för andra kontrollerande faktorer (t.ex. betning) än närsalter huvudsakligen från sedimentet.



Figur 7. Uppmått täckningsgrad av snabbväxande makroalger som funktion av organiskt kol i sedimentet för ett flertal vikar utefter Sveriges västkust. *Källa:* Bohuskustens vattenvårdsförbund kustvattenkontrollprogram "snabbväxande makroalger". Sammanställt av Länsstyrelsen inom ramen för Regeringsuppdrag 51b.

Modellsimuleringar av effekten av olika restaureringsåtgärder på viknivå har bland annat genomförts i Orust - Tjörn området med hjälp av "vikmodellen". I modellen jämförs förväntat resultat i form av minskad täckningsgrad av snabbväxande makroalger för olika typer av åtgärder; antingen minskad näring från havet, strandnära avrinning eller borttagande av näringsämnen från bottensediment. Simuleringen har genomförts med en reduktion på motsvarande 10 respektive 30% i tillförsel av näringsämnen.



Figur 8. Resultat från modellsimulering med hjälp av "vikmodellen" i Orust-Tjörn området. Effekten av åtgärder såsom borttagande av minskad näring från havet, strandnära avrinning eller borttagande av näringsämnen från bottensediment på täckningsgraden av snabbväxande makroalger vid 10 respektive 30% näringsämnesreduktion.

Näringsbidraget från land påverkar täckningsgraden av alger direkt som visas med grön linje i figur 8. Men också indirekt genom pålagring av organiskt material i sedimenten som sedan läcker näringsämnen till vattenmassan. I aktuellt område förväntas högst reduktion i täckningsgrad av snabbväxande makroalger uppnås genom åtgärden borttagande av ytsediment (Fig. 8). Utbredningen av snabbväxande makroalger förväntas minska med i medeltal 10 % vid en reduktion i tillförseln av näringsämnen med 30 % vid borttagande av ytsediment. Den långsiktiga lösningen är dock att minska pålagringen i sedimenten genom minskad näringstransport till de känsliga vikarna.

4. Åtgärder för minskat läckage av näringsämnen

4.1. Miljöanpassad odling inom jordbruket

Kväveutlakning från jordbruksmark

Hög halt av mineralkväve i marken då vattenströmmen är nedåtriktad ger normalt stora utlakningsförluster. Under vissa förutsättningar kan utlakningsförlusterna motverkas av denitrifikation, då nitratkväve med hjälp av bakterier omvandlas till fri kvävgas. Är marken bevuxen under höst och vinter, t.ex. med vall, vallinsådd eller fänggröda blir kväveutlakningen betydligt lägre än om marken bearbetas på hösten. Vid oförändrad odlingsinriktning är kvävegödsling och jordbearbetning de odlingsåtgärder som har störst betydelse för förlusternas storlek. Kvävetillförseln till ytvatten kan också begränsas genom olika denitrifikations gynnande åtgärder, t.ex. genom reglerbar dränering på åkermark och våtmarker. Forskningen har gett relativt goda kunskaper om klimatets, jordartens, växtslagets och odlingsåtgärdernas betydelse för kväveförlusterna till vatten. För kväve finns därför förutsättningar att genom modellering göra relativt säkra beräkningar av kvävetillförseln till vattensystemen.

Fosforutlakning från jordbruksmark

Kunskapen om fosforförlusterna från åkermark och vilka faktorer som styr i det enskilda fallet är inte lika väl kända som för kväve. Fosforförlusterna sker till stor del under episoder med hög avrinning. Man brukar säga att 90 % av fosforförlusterna kan härstamma från 10 % av arealen och ske under 1 % av tiden. Detta innebär att det ofta är de lokala förutsättningarna som ger höga förluster. Fosforbidraget från åker till ytvatten har i det nationella övervakningsprogrammet varierat mellan 0,003 – 1,8 kg per ha och år med ett medeltal på 0,4 kg per ha och år. Fosfor transporteras dels i form av lösta fosfater, dels i organiska föreningar och dels bunden till mineralpartiklar. Andelen löst fosfor kan variera mellan 20 och 85 %. Vid höga flöden och i samband med ytavrinning med erosion är andelen partikulärt bunden fosfor hög. Det eroderade materialet kan antingen nå diken och vattendrag genom yttransport eller genom nedtransport i makroporer eller anlagda grusfilter och därefter via dräneringsledning ut i öppna vattendrag. Transporten av partikulär fosfor är ofta större från leror och leriga jordar med svag aggregatstabilitet än från enkelkornjordar med god infiltrationskapacitet. En kartläggning av fosforhalterna i både ytavrinning och dräneringsvatten från ett 25-tal fält runt Ringsjön i Skåne visade att fosforhalterna i medeltal var nära 10 gånger högre i ytvattnet än i dräneringsvattnet från samma fält. Dräneringsvattnet innehöll å andra sidan betydligt högre kvävehalter. Modellberäkningar av fosforförlusterna från mindre områden ger överlag mycket osäkra resultat bl.a. beroende på att användbara data som regel saknas för nyckelfaktorerna. Den stora variationen i

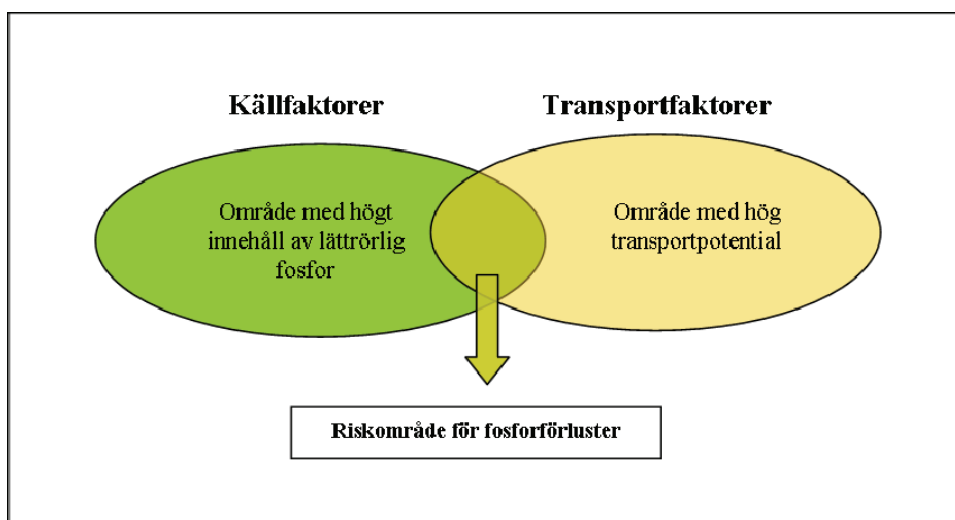
fosforförluster som redovisats för representativa fält i olika jordbruksområden i den nationella övervakningen ger också stöd för denna bedömning. En av de viktigaste åtgärderna är därför att ”finna de områden” som läcker mest fosfor. För detta krävs en kartläggning av riskområden för fosforförluster från åkermark. Kartläggning ska syfta till att peka ut områden som både har ett högt innehåll av lätttrörlig fosfor och en hög transportpotential, se figur 9. Följande faktorer bedöms innebära hög risk för fosforförluster:

Källfaktorer:

- Hög halt lättlöslig fosfor i matjorden, d.v.s. PAL-klass IV eller V
- Handelsgödsel och stallgödsel som inte brukats ner efter spridning, t.ex. stallgödsel som sprids på vallar efter sista skörd eller sista avbetning på hösten
- Lättnedbrytbara, fosforrika skörderester som lämnats kvar på markytan
- Låg halt av järn- och aluminiumföreningar som kan binda lättlöslig fosfor

Transportfaktorer:

- Låg infiltrationskapacitet i marken, t ex på grund av jordart eller markpackning
- Sluttande mark
- Stora sammanhängande fält med konkava former
- Underdimensionerade dräneringsledningar och kulvertar som innebär att avrinningen sker på ytan
- Brist på skyddszoner eller ”trösklar” intill öppna diken och vattendrag
- Vegetationstäckes saknas under vinterhalvåret



Figur 9. Beskriver schematiskt riskområden för fosforförluster.

Ett pilotprojekt genomförs i bl.a. Danmark som syftar till en klassning av åkermarken med hänsyn till risken för fosforförluster till ytvatten. Metoden beräknas vara i tillämpning i stor skala 2009. Projektet ”Greppa fosfor” pågår i Sverige och testar åtgärder mot fosforförluster i praktiken.

Miljökrav vid individuell prövning av jordbruksföretag

Bedömningar med utgångspunkt från de källfaktorer och transportfaktorer som angetts ovan förutsätter kännedom om de lokala förhållandena. Informationen ingår delvis i den miljökonsekvensbeskrivning som ska genomföras i samband med ansökan om tillstånd enligt miljöbalken. Tillstånd enligt miljöbalken till djurhållande jordbruk har som regel förenats med villkor för att begränsa utsläppen av gödande ämnen i sjöar och vattendrag och hav. Kraven har anpassats efter miljöns känslighet och har inte bedömts vara orimliga. De kan därför vara ändamålsenliga även för områden som påverkar kustvatten med övergödningssproblem. Vissa villkor har primärt till syfte att minska kväveutlakningen andra främst att begränsa fosforförlusterna. Några exempel på villkor anges nedan, flera av villkoren ovan har överprövats och fastställts av miljödomstolen:

- Spridningen av gödselmedel skall grundas på aktuell markkarta och anpassas till grödans behov. Markkartering av hela spridningsarealen skall ske minst en gång vart tionde år.
- På fält som uppnått högsta fosforklassen får ingen ytterligare fosfor tillföras.
- Flytgödseln skall analyseras med avseende på kväve och fosfor minst en gång per år.
- En växtnäringsbalans avseende kväve, fosfor och kalium skall upprättas för verksamheten minst en gång vart tredje år.
- Spridning av gödsel i växande gröda får under tiden den 1 juni – den 31 augusti endast ske med myllningsaggregat eller med efterföljande nedbrukning inom 1 timma.
- Minst hälften av flytgödselproduktionen ska spridas med myllningsaggregat.
- Kvävegödsling till höstsäd med flytgödsel eller handelsgödsel får inte ske under tiden 1 augusti –15 februari.
- Kvävegödsling av slättevall med handelsgödsel eller flytgödsel får inte ske under tiden 20 oktober –15 februari.
- Plöjning av vall och flerårig gröntråda får inte ske under perioden 1 augusti –20 oktober om inte vallbrottet följs av höstsådd.
- Intill öppna diken, vattendrag, våtmarker och mangelgravar skall en zon lämnas fri från gödselspridning. Den spridningsfria zonen bör vara ständigt bevuxen. Zonens bredd skall anpassas efter risken för ytavrinning från fältet, men får inte vara mindre än sex meter.

Åtgärder mot kväveförluster

Det finns en lång rad åtgärder som ger indirekta och svårbedömbara effekter på kväveläckaget, som t.ex. åtgärder för att begränsa ammoniakavgången från djurhållning och stallgödselhantering (en av de få åtgärderna där vi uppnått miljömål). Dessa åtgärder har utelämnats i redovisningen nedan. Samma sak gäller sådana förändringar som innebär betydande intäktsbortfall och kräver en omfattande administration för att fungera utan att ge några större effekter på kväveutlakningen, t.ex. reducerad kvävegödslingsnivå. Även sådana åtgärder som inte kan genomföras utan att produktionsinriktningen förändras har lämnats därhän. I följande stycken presenteras de åtgärder som enligt forskningsresultaten har visat sig kunna ge mätbara och inte enbart marginella effekter på utlakningen av kväve. Vissa av åtgärderna kan också förväntas ha god effekt på fosforförlusterna.

Reducerad jordbearbetning

Metoden är främst aktuell inför sådd av höstsäd. Genom mindre och grundare bearbetning än vad som normalt förekommer vid odling av höstsäd kan kväveminaliseringen begränsas och mängden utlakningsbart kväve reduceras. Tillfredsställande underlag för bedömning av effekten på kväveutlakningen saknas men Jordbruksverket uppskattar effekten till 2-10 kg kväve per ha och år. Metoden förekommer i begränsad omfattning idag, men problem med skördeminskning och en ökning av rot-ogräs förekommer.

Om jordbearbetningen på hösten senareläggs och särskilt om vallbrottet skjuts upp till dess att marktemperaturen sjunkit minskar mineraliseringen och nitratbildningen i marken och därmed också utlakningsförlusterna. Övergång till vårbearbetning minskar utlakningsförlusterna ytterligare. Vallbrott på våren i stället för på hösten ger en reduktion av utlakningsförlusterna på 10-20 kg per ha och år. På lerjordar innebär dock vårplöjning negativa effekter som strukturskador, senarelagd sådd och lägre skörd.

Spridningstid för stallgödsel

Kvävegödslingen ska enligt gällande föreskrifter begränsas så att den inte överstiger grödans behov på den aktuella växtplatsen. Enligt Jordbruksverkets riktlinjer för gödsling och kalkning finns normalt inte något behov av kvävegödsling för att täcka grödans behov på hösten. Spridning av stallgödsel inför sådd av höstsäd förekommer ändå i viss omfattning. För fasta gödselslag har spridningstidpunkten mindre betydelse för kväveutlakningen. För flytgödsel är det annorlunda där spridning inför sådd av höstsäd innebär ökad utlakning. Vid en normalgödselgiva på 20 ton per ha uppskattas kväveutlakningen öka med 10-20 kg per ha och år.

Stallgödselspridning på vall efter sista skörd eller avbetning på hösten ger relativt liten påverkan på kväveutlakningen men kan medföra stor risk för fosforavrinning i samband med ytavrinning.

Höst- eller vinterbevuxen mark

Genom att hålla åkermarken bevuxen under vinterhalvåret då avrinningen är som störst minskar läckaget av kväve. En del av den höst- eller vinterbevuxna marken utgörs av höstsäd. Eftersom höstsäden orsakar lika stor utlakning som vårsäd är det tveksamt om den höstsådda arealen bör ingå i höst- eller vinterbevuxen mark. Om

höstsädesarealen utgår och kravet på vintergrön mark uppnås genom fånggröda beräknas förlusterna minska med 5 – 15 kg kväve per ha och år. Till exempel finns det i Hallands län krav på att minst 60 % av arealen på varje gård ska vara höst- eller vinterbevuxen. År 2007 var andelen 77 % i länet, men 2008 har spannmålsarealen ökat medan trädesarealen och fånggrödearealen minskat.

Åtgärder för ett minskat fosforläckage från åkermark

Åtgärder mot fosforläckage från åkermark har främst tre syften:

- a) Kartläggning för att finna områden med risk för höga fosforförluster
- b) Minska mängden lättlöslig/lättrörlig fosfor på markytan och i matjorden
- c) Minska risken för yterosion och vattenförorening

Det är mycket viktigt att anpassa fosforbegränsande åtgärder efter de lokala förutsättningarna då fosforläckaget varierar kraftigt på liten skala. Det är därför mycket angeläget att sätta in åtgärder där läckaget är högst för att åtgärderna ska göra störst nytta. Att markkartera åkermarkens fosforinnehåll för att finna områden med höga fosforförluster är därför en viktig åtgärd för att sedan kunna behovsanpassa gödslingen och sätta in åtgärder som behovsanpassade skyddszoner, våtmarker, och begränsa jordbearbetningen. Att klargöra källfaktorerna är en förutsättning för att kunna begränsa transportfaktorerna med olika åtgärder på det mest effektiva sättet.

Kartläggning för att finna områden med risk för höga fosforförluster

Regelbunden markkartering är en av förutsättningarna för att kunna anpassa fosforgödslingen till fosforinnehållet i marken och grödans fosforbehov. För att kunna prioritera åtgärderna till de markområden där risken för framför allt förluster av fosfor genom ytavrinning är stor måste riskområden för fosforförluster från åkermark kartläggas. En klassificering av åkermarken i förslagsvis fem riskklasser på grundval av de viktigaste transportfaktorerna underlättar prioriteringen av åtgärdsområden:

- topografi
- närhet till öppna diken och vattendrag
- jordart
- markavvattning, fältstorlek och konkava fältformer

Minska mängden lättlöslig/lättrörlig fosfor på markytan och i matjorden

Behovsanpassad fosforgödsling är en viktig åtgärd. Halten lättlöslig fosfor i marken varierar ofta inom vida gränser från en gård till en annan. Gårdar med omfattande djurhållning i förhållande till spridningsarealen kan genom årligen återkommande stallgödseltillförsel ha ökat halten lättlöslig fosfor betydligt. Det har mer varit fråga om att bli av med gödseln än att anpassa gödslingen till grödans fosforbehov. Synen på stallgödseln har förändrats, men de kraftigt uppgödslade jordarna finns lokalt kvar. Från dessa områden finns risk för betydligt högre fosforförluster med dräneringsvattnet och särskilt genom ytavrinning med erosion. En rimlig begränsning av fosfortillförseln är att anpassa gödslingen till Jordbruksverkets riktlinjer för gödsling och kalkning. För den aktuella grödfördelningen innebär detta: Ingen fosforgödsling med handelsgödsel,

stallgödsel eller andra organiska gödselmedel av åkermark i fosforklass V. Max 10 kg fosfor per ha i fosforklass IV.

Stallgödsel som sprids t ex efter sista skörd eller avbetning på hösten och inte brukas ned innebär en betydande riskfaktor för fosforläckage i samband med hög nederbörd och ytavrinning på fälten. Spridning sent på hösten är idag relativt vanligt förekommande på gårdar med hästar eller nötkreatur där hela eller den helt dominerande delen av arealen utnyttjas för vallodling. För att minska förlustriskerna bör fosforgödning med handelsgödsel, stallgödsel eller andra organiska gödselmedel följas av nedbrukning samma dag under tiden 1 oktober -31 december.

Minska risken för yterrosion och vattenförorening

Anläggande av skyddszoner på åkermark längs vattendrag är ofta en mycket viktig åtgärd för att minska förlusterna av fosfor via ytavrinning. Detta behandlas separat i avsnitt 4.3.

Översyn av markavvattningsanläggningar med avseende på funktion och kapacitet kan behövas i områden där ytavrinning förekommer under perioder med höga flöden och ledningarna inte förmår transportera allt vatten. En kartläggning av erosionsskador och spår av stående vatten på fälten omedelbart före vårbruket kan ligga till grund för bedömning av vilka områden som kan behöva åtgärdas.

Övrigt

Tillsyn och rådgivning är mycket viktigt i detta sammanhang. Intensifierad tillsyn av jordbruksföretag med bl.a. kontroll av avrinning från rastfällor och andra hårt belastade ytor, lagringskapacitet av gödselvårdsanläggning för stallgödsel, täthetskontroll av flytgödsel- och urinbehållare och övriga utrymmen för lagring av foder och gödsel.

Genom att rikta rådgivning inom LRF:s projekt *Greppa Näringen* till jordbruksföretag som bedriver verksamhet inom områden där vattendragen har höga fosforhalter och inte uppfyller miljö kvalitetsnormen god ekologisk ytvattenstatus på grund av övergödning finns förutsättningar att få till stånd en rad mindre förbättringar som tillsammans kan medverka till att fosforutsläppen sjunker. Det kan gälla både utfodring, gödselhantering och odlingsåtgärder i jordbruket.

4.2. Våtmarker

Våtmarker har många funktioner och är biologiskt sett viktiga för att fånga upp näringsämnen och för att bevara och öka den biologiska mångfalden. Våtmarkers förmåga att rena bort näringsämnen sker på flera sätt (exempelvis upptag i biomassa, sedimentation, denitrifikation). Våtmarkerna dämpar vattenflödet i avrinningsområdet och ökar därmed tiden för reningsprocesserna att verka. Reningsprocesserna är beroende av koncentrationen av näringsämnen. För att våtmarken ska vara kostnadseffektiv genom att rena en stor mängd kväve eller fosfor, ska våtmarken tillföras både höga koncentrationer av kväve eller fosfor i det tillrinnande vattnet, samt tillföras ett relativt högt vattenflöde (Tonderski et al., 2002). Reningseffektiviteten beror även på i vilken form näringsämnena förekommer, t.ex. löst eller bundet till partiklar, och därmed vilka reningsprocesser

som sker (Andersson et al., 2005). Den relativa kväveavskiljningen har registrerats att ligga mellan 4-9% (Hellberg 2004). Kväveavskiljningsförmågan kan variera mycket mellan våtmarker och i litteraturen nämns 200-2000 kg kväve per hektar våtmarksyta (se IVL 2008). En jämförelse mellan de våtmarker som anlagts i Sverige genom lokala investeringsprogram (LIP) och med miljöstödd inom landsbygdsprogrammet har uppvisat en betydande skillnad i kväverening. De våtmarker som anlagts genom LIP har i genomsnitt en kvävereduktion på 500 kg/ha och år och de som anlagts med stöd av jordbruksverket har i genomsnitt en rening på ca 100 kg/ha och år. Orsaken till denna skillnad tros ligga i att de våtmarker som anlades inom LIP var kväverening huvudsyftet (Hellberg 2004), medan jordbruksverkets stöd även hade förbättring av biologisk mångfald som huvud- eller delsyfte. Jordbruksverket föreslår att våtmarker bör vara utformade så att en genomsnittlig kvävereduktion på minst ca 200 kg/ha våtmarksyta uppnås.

Utvärderingar av hur mycket fosfor som avskiljs i en våtmark är färre och kunskapen mindre. Studier inom reningseffekten av våtmarker som sedimentationsfälla har visat på en fosforretention mellan 10-48% (Hellberg 2004, Sveistrup 2005).

Då syrebrist och organiskt material är förutsättningar för denitrifikation blir reningen effektivare genom att mycket organiskt material sedimenterar och om det organiska materialet leder till syrefattiga sediment. En våtmark blir därför en bättre kvävefälla med åren. Reningen av fosfor i en våtmark blir däremot sämre med tiden p.g.a. att partikulärt fosfor som sedimenterar och finns kvar i våtmarken kan frigöras (Leonardsson, 1994). De fosforrika sedimenten måste tas bort för att uppnå god rening förmåga igen. En våtmark vars huvudsyfte är att minska näringstillförseln till havet, en sjö eller en skyddad vik, bör anläggas där halterna av näringsämnen i vattendragen är höga. Om uppgifter om vattenkvaliteten saknas bör våtmarken anläggas där andelen jordbruksmark är stor (mer än 70 %, Jordbruksverket 2004). Våtmarker högt upp i avrinningsområdet, långt ifrån kusten, är mindre effektiva som näringssänka för transporten till havet, men kan göra miljönytta som flödesutjämningsmagasin eller för att minska näringstillförseln till sjöar och vattendrag.

Anläggningskostnad varierar beroende på förutsättningar såsom om det är möjligt att dämna eller om det krävs storskalig schaktning och borttransport av massor. Kostnad för grävning och borttransport är ca 25-30 kr/m³ vilket ger en kostnad på ca 220 000 kr för en våtmark på 1 ha. Reningkostnad för kväve varierar mycket men vissa studier tyder på en kostnad motsvarande 31-37 kr/kg N (Ekologgruppen, 2004; Persson et al., 2005; Naturvårdsverket, 2007) och 1125 kr/kg P.

Även anläggande av mindre våtmarker vid mynnande dräneringsrör (hästskovåtmarker) minskar mängden lättlösligt kväve och partikelbundet fosfor som når vattendraget (Djupfors Schwab, 2007). Hästskovåtmarker bromsar även upp flödet från respektive dräneringsrör och leder till minskad erosion och minskad sedimenttransport till vattendraget. Rätt belägna kan hästskovåtmarker vara effektiva kvävefällor.

Fångdammar (Fangdammer)

Fångdammar är konstruerade våtmarker där man försöker optimera de naturliga reningprocesserna. De anläggs genom att bredda och dämna vattendrag. Fångdammen kan bestå av flera komponenter; sedimentationskammare,

våtmarksfilter, översilningszon, samt en utloppsdam. De olika delarna av fångdammen skiljs genom grunda trösklar eller dämmen med möjlig genomströmning. Fångdammen bör utgöra 0.1-1 % av nederbördsfältet för att inte överbelastas. Dammen bidrar till att reducera närsalter genom sedimentation, och biologisk och kemisk bindning. Dessutom bidrar dammen till flödesutjämning, ökad biologisk mångfald och ett vackert inslag i kulturlandskapet. Fångdammen är som mest effektiv vid kraftiga nederbördsperioder och snösmältning då partikeltransporten i vattendragen är stor. Om det primära problemet är partikeltransport så bör sedimentationskamrarna vara väl tilltagna. Om man vill fånga löst kväve och fosfor och organiskt material, så bör en större del av arealen anläggas som vegetationsfilter. Dammen kan kombineras (avslutas) med en kväve eller fosformur. Se www.bioforsk.no för en mer detaljerad beskrivning. I det Bohusländska landskapet som är kuperat är det svårt att anlägga traditionella våtmarker som tar stor areal i anspråk. Mindre men effektivare anläggningar som t.ex. fångdammar kan då vara ett bra alternativ. Mycket av forskningen på fångdammar har gjorts i södra Norge med liknande förhållanden och jordarter som i Bohuslän.

Vindpumpsvåtmark

Stora områden finns på slättbygden längs Halland- och Skånekusten där det är svårt eller i princip omöjligt att skapa våtmarker med dagens stödsystem för EU-bidrag. Områdena är platta, grundvattnet är sänkt 2-3 meter och det är oftast dåligt fall i de diken som är kraftigt förorenade och som avvattnar stora arealer jordbruksmark. För att kunna få till stånd våtmarker måste man in princip kunna dämna upp vatten på en enskild fastighet för att kunna få tillräcklig areal och därmed kostnadstäckning. Som alternativ till dämning kan man med andra ord pumpa. Att pumpa mindre mängder vatten är relativt billigt men elanslutningar kan bli dyrt att dra fram och ur miljösynpunkt kan det vara tveksamt. Vindkraftpumpar kan då vara ett alternativ.

I Halland färdigställdes ett par våtmarker med vindpumpar under 2004. Bägge anläggningarna lyfter vatten ifrån kraftigt förorenade vattendrag. Principen är enkel och bygger på direktverkande bälg- eller skruppumpar och ger ca 10-30 kubikmeter per timma vid gynnsam vind. Huvudsyftet är att gynna mångfalden i områdena men givetvis så nås även stor reningseffekt på det lilla vatten som passerar våtmarkerna. I Halland finns idag fem anläggningar som vattenfylls via vindpumpar.

Att det överhuvudtaget skapas vattenspeglar i slättlandskapet har en mycket positiv påverkan på mångfalden i ett område. Vid tätare jordarter som lera räcker det i princip med det vatten som regnar ner för att skapa värdefulla våtmarker. En enkel invallning runt ett område kan räcka. Näringsläckaget minskning från jordbrukslandskapet är kanske inte av stor betydelse med dessa anläggningar men vinsterna i form av myllrande mångfald och ökad livskvalitet för människor kan utan tvekan motivera dem på ställen där det annars är svårt att anlägga andra typer av våtmarker.

4.3. Skyddszoner

Skyddszoner, d v s den närmaste zonen längs diken, vattendrag eller sjöar på jordbruksmark som inte brukas minskar risken för erosion, näringsförluster via

ytavrinning och direkt spridning av näringsämnen och bekämpningsmedel till vattnet.

Skyddszonernas effekt på fosfortillförseln till vattendragen genom ytavrinning har studerats i ett antal fältförsök (t ex Syversen 2005). Enligt Leonardsson (1994) kan skyddszoner i kombination med avfasning (se avsnitt 4.5) fånga upp 8-74 kg kväve per hektar och år beroende på belastning. Det bör poängteras att resultaten varierar inom vida gränser eftersom lokala förhållanden som jordart, topografi nederbörds- och avrinningsförhållanden styr. Totalfosforhalterna kan minska med upp till över 90 % när vattnet passerar genom en skyddszon. Baserat på resultaten i Syversen (2005) kan man grovt anta en 30 % och 50 % reduktion av kväve respektive fosfor när det gäller ytavrinningen. Dock sker kväveläckaget i väldigt liten utsträckning i form av ytavrinning, däremot avgår stora delar av fosforläckaget i form av ytavrinning då en stor del av fosfor är partikelbunden vilket innebär att skyddszoner har en avsevärt mycket större effekt på fosforläckaget.

Åkermarken närmast vattendraget får anses bidra med mer fosfor än genomsnittsarealen och själva skyddszonsarealen har nolläckage av fosfor (har aldrig visat sig vara en källa för fosfor). Normalt är den skyddszon som ges EU-ersättning intill öppna diken och vattendrag 6 meter bred.

Avfasning av strandzonen kan med fördel kombineras med skydds/kantzoner. Kantzoner med flack strandzon ger förutsättningar för en mångfald av både växter och djur. Om zonen är beväxt med träd och buskar ("gröna korridorer") ger dessa skugga som motverkar igenväxning av vattendraget och håller vattentemperaturen nere, vilket är bra för både fisk och bottenfauna (Nihlén, 1996; Djupfors Schwab, 2007; Sandström, 2003).

Det finns ingen direkt kostnad för avsättning av mark till kant- eller skyddszon förutom produktionsminskning om marken i dagsläget används som jordbruksmark. Om så är fallet finns bidrag för skyddszon inom Landsbygdsprogrammet. Kostnad för trädplantering uppskattas till ca 530 kr per 100 meter (Hellberg, 2004).

4.4. Årestaurering

En årestaurering förbättrar många aspekter av miljön i och runt ett vattendrag. Oftast kombineras flera olika typer av åtgärder, av vilka några presenteras i denna rapport (våtmarker, meandring, kantzoner, avfasning och utrivning av vandringshinder), i syfte att återskapa natur- och kulturmiljövärden utifrån ett brett landskapsperspektiv. Detta gör det svårt att separat identifiera och uppskatta nyttan av, och kostnaden för, minskat näringsläckage men generellt så kräver årestaureringsprojekt i syfte att förbättra vattenkvaliteten storskaliga insatser och stora ekonomiska resurser. Trots ett ökat intresset för restaurering i rinnande vatten råder det även brist på uppföljning och utvärdering av genomförda projekt, vilket gör det svårt att dra lärdom av genomförda åtgärder (Naturvårdsverket, 2006). Nedan görs en översiktlig genomgång av några aspekter av årestaurering.

Meandring beror på att strömhastigheten (och därmed erosionen) ökar i ytterkurvor och minskar i innerkurvor, vilket ger en avsättning av material. Vattendragens meandring sker även i djupled och skapar grunda strömvattenpartier omväxlande med djupare höljor med mer stillaflytande vatten. Naturligt strävar alla vattendrag efter att slingra sig, men i odlingslandskap och skogsbruksområden hålls

meandringsprocessen i schack genom återkommande dikesrensningar. Det påverkar både mångfalden av arter, uppvandringen av fisk och transporten av näringsämnen i vattendraget negativt (Djupfors Schwab, 2007). En meandring ökar dessutom vattendragets totala längd och minskar flödes hastigheten vilket ökar vattendragets självrenande förmåga samt minskar erosion och bortspolning av sediment (Wallenberg et al., 2008; Nihlén, 1996). Vid återskapande av meandring vill man ofta även få tillbaka översvämningssmarker, vilket kräver att vattendraget grävs grundare än diket (Hagerberg et al., 2004). Meandringen verkar då även utjämnande vid flödestoppar. Genom att förbättra vattendragets flikighet och djupvariation ökar även vattendragets fiskproduktionsförmåga (Sandström, 2003). Liksom för våtmarker är det svårt att uppskatta effekten av meandring för näringsretention då bra mätserier saknas och många faktorer som exempelvis markanvändning i omgivningen, vattnets uppehållstid och mängden tillgängligt kol påverkar reningsprocesserna (Tonderski et al., 2002). Enligt en sammanställning av Leonardsson (1994) finns det mätningar som indikerar hög retention (100-315 kg kväve/ha och månad och 5-9 kg fosfor/ha och månad) då kringliggande marker översvämmas men det är svårt att extrapolera dessa resultat till årsbasis. Även kostnader varierar beroende på hur terrängen ser ut. Vid återmeandring är det viktigt att titta på vattendragets ursprungliga form då restaurerade fåror som tvingas in i en form som är onaturlig i förhållande till avrinning och sedimenttransport snabbt sköljs bort. Restaureringsinsatser i vattendrag bör föregås av förstudie avseende ekosystemets historia, struktur och skalförhållande i tid och rum (Naturvårdsverket, 2006).

4.5. Avfasning av diken

I ett rätat och fördjupat vattendrag är strandzonen mycket smal och strandkanterna vanligtvis branta. Detta leder till erosion av strandkanterna. Erosionen i sin tur leder till ett grumligare och näringsrikare vatten p.g.a. erosionsmassorna. Genom att skapa flackare strandkanter genom exempelvis avfasning minskas erosionen och vegetationsetablering underlättas (Nihlén, 1996; Djupfors Schwab, 2007). Långsträckta sluttande kanter blir översvämningssområden som växelvis är vattendränkta, fuktiga eller torrlagda. Vid vegetationsetablering ger även en sammanhängande rotmassa av växter en stabilare strandkant med mindre erosion. Samtidigt ökar sedimentationen av fosforbundna partiklar i strandzonen (Djupfors Schwab, 2007) då det vid höga flöden sker en översilning och partiklar sedimenterar i den terrestra miljön. Enligt Vought et al. (1994) är mer än 70 % av total-fosfor som läcker från mark bundet till partiklar. Vattnet får dessutom större kontaktyta med marken och vegetationen vilket även det bidrar till en ökad rening av näringsämnen. Den förstörade åsektionen tjänar som ett magasin vid höga flöden och översvämningar av omgivande åkermark undviks. Strandzonen får även högre naturvärden. Liksom vid meandering ökar vattendragets fiskproduktionsförmåga vid ökad heterogenitet (Sandström, 2003). Gällande näringsupptag så är det svårt att ange några generella mått då många faktorer påverkar. Uppgifter som syftar till en kombination av avfasning och beväxta kantzoner visar på en varierande effekt på 8-74 kg kväve och 0,1-3 kg fosfor per hektar och år beroende på belastning (Leonardsson, 1994). Även kostnader varierar beroende på förutsättningar. Inom Höjeåprojektet kostade avfasning längs åtta olika sträckor i genomsnitt 320 sek/meter (Ekologgruppen, 2004). I Långeberga var motsvarande kostnad 195 kr/m (Hellberg, 2004).

Liksom för meandering krävs noggrann förstudie för anpassning till lokala förutsättningar.

4.6. Skogen och skogsbruket

Klimatförändringarna antas medföra ökad nederbörd under höst och vinter och därmed ökad kvävdeposition. Detta förhållande tillsammans med mildare vintrar medför ökad erosion och infiltration och därmed ökande transporter av näringsämnen. Kvävehalten i luften över Sverige varierar inte mycket, utan nedfallet storlek styrs av nederbördens storlek, som är stor i sydvästra Sverige. Den större delen av kvävenedfallet utgörs av nitrat-kväve och den andra hälften av ammonium-kväve. Nitrat-kvävet härrör huvudsakligen från utsläpp från förbränning och ammonium-kvävet från avdunstning från gödsel. Växande skogar tar upp kväve och en del lagras i marken. Kvävedepositionen från atmosfären är också orsaken till en del av det läckage per ha som sker från skogen, från obrukad åker och från övrig mark. Vid miljöövervakningsstationen i Munkedal läcker skogen ca 30 % av kvävenedfallet över öppet fält på samma plats. Skogen i stort utgör således en kvävesänka. De viktigaste åtgärderna för att reducera det s.k. bakgrundsläckaget från de svenska markerna är att med internationella och nationella åtgärder minska kväveutsläppen till atmosfären.

Studier av transporten av näring från skogsmark till omgivande vattendrag och hur olika skogsvårdsåtgärder påverkar läckaget har visat att det är svårt att urskilja skillnader i vattenkvalitet mellan opåverkade och skogsbrukspåverkade vattendrag. På slutavverkade ytor ökar dock kväveläckaget flera gånger med en varaktighet på tre till fem år (SLU, Stefan Lövgren pers.kom.). I en åtgärds katalog med ”skogliga åtgärder vid vatten” beskriver Skogsstyrelsen åtgärder inom skogsbruket för att motverka transport av näringsämnen och vi hänvisar till detta dokument för mer ingående beskrivning (Skogsstyrelsen PM 2009-01-12).

4.7. Punktkällor

Reningsverk

Utsläppen av kväve och fosfor från kustnära reningsverk är en viktig källa till näringsbelastningen till kustvatten. I de fyra fallstudieområdena som undersökts i mer detalj, visar framtagen källfördelning att avloppsreningsverk (ARV) bidrar med 6-10 % av N och 1-11 % av P. De är därmed en källa att studera närmare vad gäller möjliga åtgärder.

Det finns ett 60 tal kustnära reningsverk längs Västerhavet. De flesta verken, även de mindre än 200 pe (person ekvivalenter), klarar idag 90 % fosforreduktion. De flesta större reningsverk uppnår vanligtvis 95 % fosfor rening. Den goda kvaliteten på reningsverkens fosfor rening beror i huvudsak på att miljömyndigheterna redan på 1970-talet började ställa krav på att alla reningsverk större än 2000 pe skulle uppnå 90 % fosfor rening. Under början av 1970-talet fanns även möjlighet att söka fördelaktiga statsbidrag för utbyggnad av reningsverk. Naturvårdsverkets rapport HAV 90 angav att reningsverk för mer än 50000pe skulle klara 95 % rening. Avloppsvattendirektivet antogs 1991 och blev svensk lagstiftning 1994, då Sverige anslöt sig till EES-avtalet. Direktivet föreskriver att fosfor från avloppsreningsverk med en anslutning på mer än 10000 pe som leds till känsliga vattenområden inte får

överstiga 2 mg/l i utgående vatten som årsmedelvärde. Detta motsvarar endast ca 80 % rening. De svenska reningsverken har inga problem att uppfylla direktivets krav för fosfor. Avloppsdirektivets krav på kvävereduktion har däremot varit svårare att uppnå. Under 1990-talet infördes processer för kvävereduktion i reningsverken. Direktivets krav är att årsmedelvärdet av kväveutsläpp inte får överstiga 15 mg/l i utgående vatten alternativt ska reningsgraden vara 70 % reduktion för verk mellan 10000 och 100000pe, och 10 mg/l i utgående vatten eller 70 % reduktion för verk större än 100000pe.

Avloppsreningsverk <10000pe har enligt direktivet inte dessa krav på kväverening.

Fördelningen av kväve- och fosforbelastningen på Västerhavet från avloppsreningsverken kan ses i bifogade kartor. Den totala kvävebelastningen från de 60 kustnära ARV är för kväve ca 1900 ton/år. Enligt beräkningar utgör Ryaverket i Göteborgsområdet ca 60 % av den totala belastningen av Västerhavets kustnära ARV.

En trend är att de större kustnära reningsverken blir ännu större genom ytterligare anslutningar från mindre verk och enskilda avlopp. I några ARV har tillståndsprövningen även fått utökade krav på kvävereduktion än vad avloppsdirektivet föreskriver t.ex. Uddevalla reningsverk.

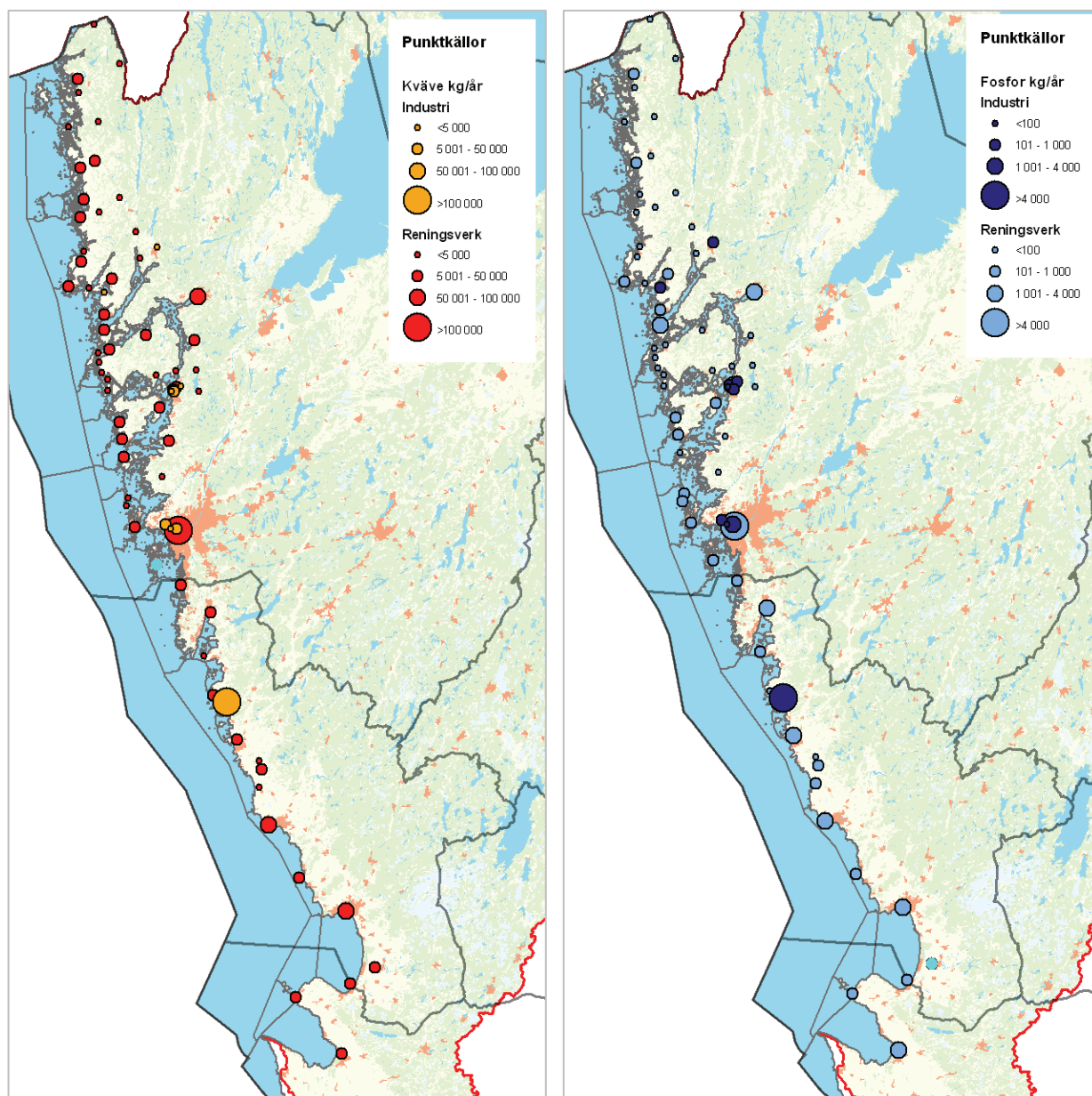
Söder om Göteborg, längs med Halland-Skåne kusten är situationen en annan, sammanslagningar av små ARV och utbyggnad av avloppsvattennätet är genomfört och inga nya stora satsningar på ARV finns i kustkommunerna. Däremot finns brister i avloppsledningsnät, som vid riklig nederbörd kan medföra relativt omfattande bräddningar. Det finns även stora brister i kunskaper och dokumentation om bräddningars storlek och frekvens och i kommunernas kontroll och redovisning av dessa utsläpp. Dokumentationen av bräddningars omfattning är i regel bra hos stora kommuner, i Göteborg släpptes t.ex. under 2006 ut drygt 7 ton fosfor och 45 ton kväve direkt från avloppsledningsnätet.

Industrier

Behovet av åtgärder för att minska utsläpp av näringsämnen till havet från industrier avgörs vid tillståndsprövning enligt miljöbalken. Tillståndsprövningen sker endera vid Länsstyrelsens miljöprövningsdelegation eller vid miljödomstolen, Vänersborgs tingsrätt. Utgångspunkten vid tillståndsprövningen är att industriernas utsläpp ska begränsas i så hög utsträckning som det är tekniskt möjligt och ekonomiskt skäligt att ställa krav på genom att använda bästa möjliga teknik, så väl i processerna, som vid rening av processavloppsvattnet. Kraven på begränsning av utsläppen varierar därför beroende på recipientens känslighet och på möjligheterna att genomföra effektiva åtgärder.

I Västerhavsdistriktet sker industriella utsläpp av kväve (ca 60 ton 2007) och fosfor (ca 5 ton 2007) till Skagerrak främst från fisk- och petrokemiskindustri, samt från raffinaderier. Till Kattegatt sker främst tillförsel från Värö bruk som utgör största industriella punktkällan till Västerhavet förutom skogsindustrin vid Väneren. Under 2000-talet har flera åtgärder vidtagits för att minska utsläppen från fiskindustrin, i första hand genom effektivare omhändertagande av fiskrens. Preem raff Lysekil, vid Brofjorden, utgör länets största punktkälla av kväve till Skagerrak (15 ton 2007) trots att utsläppet har halverats sedan kväverening infördes i början av 2000-talet. En förhållandevis stor andel av fosforutsläppet från den petrokemiska industrin och raffinaderierna sker på grund av att det tillsätts i reningsverken för att

åstadkomma en effektiv biologisk rening av organiska ämnen. En effektiv styrning av reningsprocesserna utgör därför i många fall en viktig förutsättning för att begränsa utsläppet av fosfor. Möjliga åtgärder för att minska utsläppet av fosfor från Akzo Nobel i Stenungsund, som utgör länets största punktkälla av fosfor till Skagerrak (900 kg, 2007), prövas för närvarande av miljödomstolen. Denna prövning har nu pågått i flera år och har bland annat resulterat i många olika utredningar med syfte att belysa möjligheterna att genomföra åtgärder som minskar utsläppet av föroreningar till Stigfjorden och Halsefjorden, som både är Natura 2000- och Ramsarområde. I det fallet är förutom effektivare rening även processinterna åtgärder aktuella.



Figur 10. Utsläpp från kustnära reningsverk och industri längst västkusten under 2005 av a) kväve, b) fosfor. Källa:SMED

Enskilda avlopp

Att åstadkomma åtgärder på enskilda avloppsanläggningar är både arbetsintensivt och tidskrävande för kommunerna, som är tillsynsmyndighet för enskilda avlopp. Arbetet är omfattande med bland annat inventeringar av områden och förelägganden mot enskilda personer.

Under senare år har arbetet med och diskussionerna om enskilda avlopps miljöpåverkan intensifierats både på kommunal och nationell nivå. De allmänna råden upphävdes 2003 och ersattes med nya allmänna råd 2006. Generellt sett innebär de nya råden att funktionskrav ställs på de enskilda avloppen jämfört med att tidigare råd varit inriktade på konstruktionskrav. Funktionskraven uttalas i de allmänna råden som en indelning i normal respektive hög skyddsnivå. Dessa två skyddsnivåer finns både för miljöskydd och för hälsoskydd. Kommunerna har dock även möjlighet att ställa högre eller lägre krav med hänsyn tagen till recipienten för avloppsvattnet. Som komplement till de allmänna råden gavs en handbok ut 2008.

Många kustkommuner gör bedömningen att de bostadsområden som tidigare användes för fritidsboende mer och mer övergår till att bebos året runt. Den term som har kommit att användas mer och mer för detta fenomen är omvandlingsområden. Gemensamt för dessa områden är bland annat att de är relativt tätbebyggda, de har kommit till under en tid när synen på VA-standard var annorlunda än idag, de ligger långt från kommunens verksamhetsområden för vatten- och avloppsförsörjning och områdenas dricksvatten- och avloppsstandard är låg och i behov av förbättringar.

De flesta omvandlingsområden har från början enklare toalettstandard såsom mulltoaletter, utedass och så småningom vattentoalett till slutna tank. När diskussionerna kommer igång om förbättringar på dricksvattenförsörjningen och avloppen framkommer ofta önskemål om vattentoaletter.

Dricksvatten och avloppsfrågan är en kommunal angelägenhet och kommunerna har ansvaret för att planera detta. I första hand bör man se till så att kommunen förser sina invånare med vatten- och avloppsanläggningar. Detta regleras i lagen om allmänna vattentjänster. Men där detta inte är nödvändigt är det oftast fördelaktigt både för miljön och ur ekonomiskt hänseende att flera fastighetsägare går ihop och löser avloppsfrågan gemensamt. Systemet blir mer robust ju större anläggningen blir och belastningen på anläggningen blir jämnare. Med jämnare belastning ökar förutsättningarna för en bättre reningseffekt i avloppsreningsanläggningen.

Att åtgärda enskilda avlopp innebär i stort sett alltid att man i första hand bör se till behovet av förbättringar ur hälsoskyddssynpunkt.

5. Åtgärder för att minska effekten av övergödning

5.1. Vägbankar

I vissa kustnära områden är det vanligt med vägbankar, pirar eller bryggor och brobankar som försämrar vattenutbyte i de inre delarna, vilka kan vara mycket känsliga för cirkulationsstörningar. En restaureringsinsats i dessa områden är att återskapa områdets naturliga förutsättningar, exempelvis genom att återställa vattengenomströmningen genom att öppna upp vägbankar med underdimensionerade öppningar (Lindahl, 2001). Vidare ökas dessutom tillgängligheten för fisk. Vid insatser som förbättrar genomströmningen är det viktigt att särskilja de områden som har en naturligt begränsad cirkulation, såsom grunda tröskelviker (se 6.2 Muddring). Åtgärder för att skapa genomströmning vid vägövergångar etc. sker främst i rinnande vatten för att möjliggöra fri passage för fisk (borttagande av vandringshinder). Erfarenheter från åtgärder längs kusten är mer begränsade och i de flesta fall förekommer ingen utvärdering. Undantag är åtgärder som genomförts i Strömstad kommun i norra Bohuslän inom projekt ”Friskare hav” (se 6.2 Muddring). Kostnader för förbättringar av genomströmning varierar mycket och medelkostnader för byte av heltrumma respektive dubbeltrumma till halvtrumma ligger på 170 000 respektive 272 000 kr (Wallenberg et al., 2008). Medelkostnad för ombyggnad till bro är 312 000 kr. Kostnaderna är baserade på åtgärder i rinnande vatten i Västerbottens län (Wallenberg et al., 2008). Erfarenheter från Strömstads kommun indikerar att åtgärder betalar sig genom positiva miljöeffekter. För varje enskilt objekt är det viktigt att bedöma eventuella effekter genom exempelvis analys med hydraulisk modell (Lindahl, 2001). Rekommendationer avseende genomströmningsprojekt rör områden med en försämrad cirkulation som ett resultat av vägbank eller liknande. Åtgärder för att förbättra vattengenomströmningen i exempelvis tröskelviker rekommenderas inte (Sandström, 2003).

5.2. Muddring

Muddring innebär ett borttagande och förflyttning av bottenmaterial. Anledning till muddring kan exempelvis vara sanering av förorenat sediment, ökad genomströmning i syfte att minska sedimentation och eventuell syrebrist, eller en vilja att omforma en lerig mjukbotten till en sandbotten (rekreation). Men kan även användas i syftet att ta bort ett överskott av inlagrade näringsämnen (se delrapport inom RU 51b: ”Konsekvensanalys av ett borttagande av ytsediment i grunda havsvikar”). Muddring sker även i samband med anläggande eller upprätthållande av hamnar och farleder, men detta behandlas inte i denna rapport. Generellt bör man vara försiktig med muddring då det finns ett flertal negativa effekter, av vilka några diskuteras nedan. Skyddade grunda mjukbotten har ofta stor betydelse som lek- och uppväxtområden för flera fiskarter (Ljunggren et al., 2005). De är också viktiga födosöksområden för många fågelarter. Vid muddring tas den grunda

produktiva sedimentytan bort och ersätts av en ny, djupare yta med lägre produktion och det kan ta lång tid innan ett nytt djur- och växtsamhälle etablerar sig, vilket förändrar produktiviteten och födotillgången. Vid muddring i en vik kan en förbättrad vattencirkulation minska risken för sedimentation och syrebrist men ett ökat vattenflöde leder även till att temperaturen inne i viken sänks och att vegetationen minskar, vilket kan innebära att förutsättningarna för fiskrekrytering försämras (Sandström, 2003). Av detta skäl bör man vara sparsam med muddring i vikars mynningsområden och inte minst, i trösklade vikar. Man bör även undvika muddring i områden med ålgräs då detta kan medföra förlust av ålgräs under mycket lång tid och därmed även påverka intilliggande områden negativt genom exempelvis ändrade strömförhållanden och en ökad sedimentation (www.marbipp.se).

Vid muddring sprids även sediment, vilket leder till en temporär grumling av vattnet. Av denna anledning är tidpunkten för muddring av stor betydelse för att minimera muddringens negativa effekter på framförallt yngre fiskstadier.

5.3. Musselodlingar

Eftersom musslor filtrerar bort plankton och andra små partiklar renar de vattnet och förbättrar siktdjupet, vilket möjliggör ökad lokal djuputbredning av makroalger. En effektiv filtrering av framförallt fytoplankton kan även bidra lokalt till en reducerad vårblooming (Hansson, 2008). Indirekt bidrar detta till en minskad sedimentation av organiskt material och därmed en förutsättning för minskad syrebrist i bottensedimentet. Vidare fyller musslorna en viktig funktion för recirkulationen av näringsämnen. En negativ aspekt kan vara att nedfallande avfall på bottenarna direkt under odlingen kan ge lokal negativ effekt (Haamer et al., 1999). Vidare ökar tillgängligheten av föda för exempelvis ejder. Om odlingen är mycket storskalig kan den även påverka sammansättningen av djurplanktonsamhället och därmed fiskbeståndet. Musselodlingarnas effekt på rekreation är dessutom tvådelad. Minskad mängd växtplankton och ett klarare vatten är positivt för exempelvis bad och fritidsfiske. Samtidigt kan odlingarna vara begränsande för båttrafik och fiske, vilket visar på vikten av bra planeringsunderlag för placering av odlingar. Vid val av lokal för odling av musslor är det även viktigt att studera hydrologiska förhållanden för att minimera risken för belastning på underliggande bottenar.

På västkusten kan man grovt sett räkna med att mängden kväve utgör 1% av musslans vikt. Mängden fosfor är ca 1/15 del av detta. Om man odlar och skördar 1000 ton musslor har man samtidigt fört bort 10 ton kväve och 650 kg fosfor ur havsmiljön.

På Västkusten odlades 2007 ca 3000 ton musslor med long-line metoden. Detta motsvarar ett borttag av ca 30 ton kväve och 2 ton fosfor. Om alla tillstånd som utfärdats för odling skulle utnyttjas fullt ut skulle produktionskapaciteten motsvara ca 20-30 000 ton musslor, vilket skulle medföra avsevärt högre bortförande av näringsämnen jämfört med fallet i dagsläget (pers.kom. Jarl Svahn, Länsstyrelsen i Västra Götaland).

För att utveckla musselnäringen skulle det vara av stor betydelse att utvärdera olika odlingsmetoder både med avseende på produktionskapacitet, biologisk funktion och minimera odlingarnas negativa effekter på ekosystemet och placering för

minimerad intressekonflikt, samt att jämföra odlingsmetodernas fördelar och nackdelar både på kort och på lång sikt. Musselodling är en långsiktigt hållbar form av vattenbruk som motverkar övergödning förutsatt att den upptagna näringen förs bort från systemet vid skörd. Musselodling kan fungera som en lokal restaureringsinsats i syfte att minska effekterna av övergödning och lämpliga placeringar är exempelvis i områden med stora utsläpp av näringsämnen och/eller mycket reducerat siktdjup.

5.4. Sjögräsängar

Sjögräsängar har mycket viktiga ekologiska roller i kustekosystem där de också bidrar till en rad viktiga varor och tjänster till gagn för människan. Till exempel utgör sjögräsängar viktiga uppväxthabitat och födohabitat för flertalet kommersiella fiskar och skaldjur. Sjögräsens bladskott minskar vågenergin och rotsystemet binder och stabiliserar sedimentet, vilket skyddar grunda kustområden från erosion. Sjögräsängar fungerar även som sedimentfällor som avlägsnar organiska föroreningar ur vattnet och ger klarare vatten. Sjögräs och påväxtalger tar också upp närsalter och koldioxid ur vattnet, vilka till stor del binds i sedimentet, varför sjögräsängar minskar övergödningen och växthuseffekten (Green & Short 2003, Orth et al. 2006). Det största hotet mot sjögräs anses vara övergödning och andra aktiviteter som försämrar ljusstillgången i vattnet (Green and Short 2003, Borum et al. 2004, Erftemeijer & Lewis 2006, Orth et al. 2006). Mängden lösta partiklar i vattnet exempelvis från landerosion ger en direkt effekt genom försämrad ljusstillgången i vattnet, medan övergödning försämrar ljusstillgången indirekt genom att stimulera tillväxten av både växtplankton och snabbväxande makroalger.

Restaurering av ålgräsängar (*Zostera marina* L.) diskuteras i delrapport inom RU51b ”Restaurera ålgräsängar” som en åtgärd för att återskapa förlorade viktiga kushabitat. Genom sin förmåga att vara erosionsstabiliserande och i sitt rotsystem binda upp näringsämnen och koldioxid i vattnet samt dessutom vara en viktig livsmiljö för flertalet fisk- och kräftdjursarter bidrar ålgräsängen till en av flera möjliga insatser för att minska övergödningens negativa konsekvenser. Återställande av en förlorad livsmiljö förväntas även bidra till en förstärkning till fisksamhället och därmed i förlängningen utgöra en god förutsättning av återkomst av större rovfiskar (se 5.8).

5.5. Skörd av alger

De snabbväxande makroalgerna konkurrerar med exempelvis blåstången om ljus och substrat, vilket tros ha bidragit till en reducerad djuputbredning under 1900-talets senare hälft både i Östersjön och på svenska västkusten (Kautsky et al., 1986; Svane & Gröndahl, 1989; Pedersen, et al., 1990). Då de snabbväxande makroalgerna är ettåriga lossnar stora delar av biomassan under sensommar och tidig höst, vilket leder till stora ansamlingar på grunda bottnar och stränder (Engkvist et al., 2001; Pihl et al., 1996). De drivande algerna kan bidra till att orsaka syrebrist och bottendöd både på grunt vatten och något djupare vatten. Motiv till de strandrensningar som sker i dagsläget är främst rekreation och de genomförs av framförallt campingägare och i vissa fall kommuner (exempelvis Trelleborg, Strömstad, Laholm, Båstad, Halmstad).

De teoretiska effekterna av skörd av flytande alger är att sedimentationen av de döda algerna minskar och att bottenmiljön därmed förbättras, samt att mängden kväve, fosfor och organiskt material som är bunden i bottensedimenten minskar (Harlén & Zachrisson 2001). På Västkusten finns det även ett samband mellan rekryteringsproblem för rödspätta och täckningsgrad av snabbväxande makroalger. Vidare leder skörd till ett minskat luktproblem från ruttnande alger samt mindre igenväxning av stränderna, och inte minst, ett uttag av näringsämnen.

5.6. Syresättning

I dagsläget utsätts årligen stora bottenarealer i Västerhavet för återkommande syrebrist. Detta kan även vara fallet i områden med stabila skiktningar i vattenmassan till följd av skillnader i salthalter. Syresättning har använts i sjöar för att snabbare få resultat av utsläppsminskningar genom att öka fosforbindningen i sedimentet.

Syrebristen i djupvatten påverkar näringssituationen i den fotiska zonen, framförallt när det gäller fosfor som i syresatt miljö binder till järnoxid och därmed försvinner ur systemet. Detta har man t.ex. sett i observationer i Östersjön, där fosforinnehållet minskade kraftigt under perioden 1990-1997. Detta skedde på grund av en spontan och mycket ovanlig sänkning av haloklinen (salthaltssprångskiktet). Haloklinen ligger normalt på 60 meters djup, men under perioden 1992-1997 eroderades den ned till mer än 90 meters djup. En viktig effekt av detta var att volymen vatten under språngskiktet minskade kraftigt. En annan effekt var att syrgasförhållandena radikalt förbättrades i djupintervallet 80-120 meter, vilket ledde till kraftig utfällning av fosfor genom bindning till järnoxid i sedimenten.

Ett pilotexperiment (BOX, Baltic deep water OXYgenation) kommer att genomföras bl.a. i Byfjorden på västkusten för att undersöka effekterna av att på mekanisk väg syresätta djupvatten i havet, för att på så sätt öka fastläggningen av fosfor i sedimenten. Syftet med pilotexperimenten är att undersöka fosforretentionen under olika förhållanden, med och utan artificiell syresättning i två kustbassänger med högre respektive lägre salthalt än i Östersjöns djupvatten. Flera metoder skall användas för att uppskatta utbytet av fosfor mellan sediment och bottenvatten (se Stigebrandt et al. 2008).

5.7. Mottagningsanläggningar för toa-avlopp från fritidsbåtar

Enligt Helsingforskonventionen skall förbud mot utsläpp av obehandlat toalettavfall på avstånd av 12 nautiska mil från land införas senast den 1 januari 2005. Frågan lyfts i Havspolitiska propositionen* där regeringen föreslår att ett förbud mot utsläpp av toalettavfall bör införas och att ett ekonomiskt stöd för utbyggnad av mottagningsanläggningar för avfall från båttoaletter införs. Förslaget är att detta ska finansieras genom de nya statliga bidragen till lokala vattenvårdssatsningar mot övergödning m.m. Enligt Sjöfartsverkets författningssamling 2001:13 skall mottagningsanläggningar för avfall finnas i fritidsbåtshamnar för att tillgodose behovet av avfallslämning från de fritidsbåtar

* En sammanhållen svensk havspolitik. Regeringens proposition 2008/09:170.

som normalt anlöper hamnen. (Avfall definieras som hushållsavfall, toalettavfall, olja och annat farligt avfall). Fritidsbåtshamnarna skall ha en avfallshanteringsplan.

Förutom näringsämnen sprids bakterier och virus med toaavfall. I kraftigt trafikerade inomskärsleder sommartid bidrar utsläppen från fritidsbåtarna till en förstärkning av övergödningseffekter i form av bland annat snabbväxande makroalger samtidigt som badvattenkvaliteten kan påverkas. Även om de förväntade miljökonsekvenserna av att införa förbud mot toalettavfall från fritidsbåtar blir något begränsade på den stora skalan (Kattegatt-Skagerrak) kan det vara väl motiverat på den lilla skalan (vik och kustvattenförekomst).

5.8. Fiskvägar.

Senare års studier antyder ett samband mellan övergödning och överfiske. Under de senaste 20 åren har mängden av torskfiskar i svenska Kattegatt och Skagerrak minskat med över 90 % (Svedäng, 2003; Svedäng och Bardon, 2003). Vilket i sin tur anses ge upphov till en negativ kaskadeffekt. En förlust av stora rovfiskar från kusten kan bidra till en ökad mängd av små rovdjur (dvs. småfisk, krabbor och räkor), som i sin tur minskar mängden små algbetande djur (t.ex. snäckor och märlkräftor). Detta medför i sin tur att snabbväxande alger inte längre kontrolleras av betare varför algerna kan öka när närsalterna ökar (Moksnes et al. 2008). Dessa resultat tyder på att även åtgärder för att stärka fiskbestånden kustnära habitat måste inkluderas i åtgärder för att förhindra övergödningens negativa konsekvenser.

Under lång tid har åtgärder för att underlätta fiskvandring varit koncentrerade på lax och öring. Senare insikter har dock gjort att man har börjat anpassa sina fiskvägar så att de även ger möjlighet för simsvaga arter att passera hinder. Detta då ett flertal studier visar att kustmynnande vattendrag, våtmarker och sjöar har en stor potential att fungera som lek- och uppväxtområden för sötvattenslekande, kustlevande fisk (Berg, 1982; Eriksson och Müller, 1982; Karås, 1999; Loreth, 2005; Salonsaari, 2002; Thorman, 1983; Thorman, 1986)

Vandringshinder kan exempelvis bestå av kraftproducerande större dammar, gamla dammar, vägtrummor som är felaktigt placerade i förhållande till vattendragets botten, kulvertar och igenväxning av passager (Sandström, 2003). Ibland kan det vara svårt att ta bort ett vandringshinder av exempelvis ekonomiska eller kulturhistoriska skäl. I sådana fall kan etablering av alternativa djurpassager (exempelvis omlöp) bli aktuella för att optimera vandringshinder av fisk och övriga vattenlevande djur runt ett potentiellt hinder. Kostnader för åtgärdande av enklare vandringshinder är ca 10 000 SEK förutsatt att projektet drivs till stor del genom ideell arbetskraft och bara kräver en tröskling av vattendraget nedströms en fellagd vägtrumma. Större insatser som anläggande av omlöp eller utrivning av dammar kan kosta miljonbelopp beroende på omständigheterna. Mediankostnaden för utrivning av mindre dammar är ca 100 000 kr/fallmeter. Utrivningskostnaderna ökar med exempelvis dyra fallrätter, större vatten, höga kulturvärden som måste beaktas och behov av kompletterande biotopvårdsåtgärder. Omlöp kostar i median 200 000 kr per fallmeter (Fiskeriverket och Naturvårdsverket, 2008). Denna typ av åtgärder utgör en tillståndspliktig vattenverksamhet och ska prövas enligt 11 kap i miljöbalken. En utredning av eventuella ekologiska och naturgeografiska konsekvenser av åtgärden ska genomföras.

6. Slutsatser

6.1. Åtgärder på land

Klimatförändringarna i Västsverige antas medföra ökad nederbörd under höst och vinter och därmed ökad kvävdeposition under årstider då växtligheten ej kan tillgodogöra sig kvävet och då delar av den odlade marken ligger öppen. Detta förhållande tillsammans med mildare vintrar medför ökad erosion och infiltration och därmed ökande transporter av fosfor och kväve till havet. Uppodlingen av marker som tidigare har legat i träda ökar också näringsläckaget.

Det svenska jordbruket genomför idag en rad åtgärder som motverkar näringsläckaget t.ex. genom möjligheterna att få ersättning för fånggröda och vårplöjning och ersättningsmöjligheter för våtmarker och skydds-zoner. Förslag finns att inom jordbruket införa ytterligare åtgärder som minskar kväve- och fosforförlusterna till vattendrag och hav, såsom ytterligare begränsningar av stallgödselspridning på hösten och införande av någon typ av zoner längs vattendrag för att reducera fosforförluster med erosion.

Större avloppsreningsverk och industrier har generellt hög reningsgrad som är kostsam att höja ytterligare. Mindre reningsverk har lägre krav och ofta sämre reningsgrad, framförallt för kväve. Mindre kommunala reningsverk (< 10 000 pe) och industrier med utsläpp av kväve kan dock ha betydande negativa effekter med hänsyn till recipientens känslighet. Detta gäller även för enskilda avlopp.

Diffust utsläpp från mark och deposition från atmosfär

Bohuslän

Bortsett från några få större vattendrag så är de många små vattendragen med sjöfattiga system typiskt för Bohuslän, retentionen är därför mycket låg eller i princip obefintlig. Det finns mycket berg i dagen, och jordtäcket är tunt. I sina nedre delar är ofta åarna djupt nedskurna i lerorna till följd av erosion. Jordarterna utgörs framför allt av mellanlera och lättlera. Det bedrivs ett aktivt jordbruk inriktat mot mjölkproduktion och köttjursuppfödning, vall och bete dominerar åkerarealerna. Utifrån resultaten i våra fallstudieområden (Fjällbacka inre skärgård och Fjordsystemet innanför Orust och Tjörn) och den nationella rapporteringen (Naturvårdsverket 2006), konstaterar vi att tillförseln av fosfor och kväve från land och från atmosfären till havet i Bohuslän karaktäriseras av följande:

- Stort atmosfäriskt nedfall av kväve på grund av den stora nederbörden och den höga halten nitrat- och ammonium- kväve i nederbörden.
- Stort kväve- och fosforläckage från åkermarken i Bohuslän

Kvävedepositionen från atmosfären är också delvis orsaken till det läckage som sker från skogen, från obrukad åker och från annan övrig mark.

I Bohuslän utnyttjas i stor utsträckning t.ex. möjligheterna att få ersättning för fånggröda och vårplöjning. Däremot har ersättningsmöjligheterna för våtmarker och skydds-zoner haft en låg utnyttjandegrad.

Halland och nordvästra Skåne

Typiskt för Halland och nordvästra Skåne är större vattendrag med stora avrinningsområden. Avrinningsområdena till Hallands och norra Skånes kustvatten är tydligt jordbruksdominerat, men den största delen av arealen utgörs av skog som sträcker sig långt in i landet. Jordtäcknet i norra Halland är mestadels tunt i de högre belägna delarna av avrinningsområdet, och i dalarna längs vattendragen finns sedimentära avlagringar av lera och finmo. I södra Halland och nordvästra Skåne är jorden lättare och jordarterna utgörs framförallt av ler- och sandjordar. I Hallands och Skånes kustområden bedrivs ett storskaligt, intensivt och effektivt jordbruk. Spannmål odlas på den största delen av åkerarealen. Det odlas även oljeväxter, sockerbetor, potatis, örter och köksväxter med. På ungefär en tiondel av åkerarealen odlas vall och betesmarker finns insprängt på flera håll.

Utifrån resultaten i våra fallstudieområden sker den stora tillförseln av kväve och fosfor från land framförallt p.g.a.

- Många vattendrag med stora vattenflöden
- Stort näringsläckage från åkermark av framförallt kväve

Den atmosfäriska depositionen på havsytor bidrar inte lika mycket procentuellt till belastningen av kväve som i Bohuslans kustvatten men belastningen på Hallands och norra Skånes kustvatten utgör ett viktigt bidrag.

Åtgärder för både kväve och fosfor:

- Förutsättningarna för ökad retention av fosfor och kväve måste förbättras med åtgärder såsom våtmarker och reglerbar dränering. Detta gäller generellt, men kanske särskilt i Bohuslän. Avvattningsföretag bör ses över med målsättning att öka vattnets uppehållstid i såväl skogs- som åkermark.
 - Ett stort arbetsfält är att tillsammans med markägare identifiera lämpliga lägen för våtmarker under hänsynstagande till naturliga och lagliga förutsättningar och halterna av kväve och fosfor i vattendragen.
 - Genom att anlägga meanderslingor där naturförutsättningar finns och/eller restaurera åfåran genom att t.ex. lägga i stora stenar vilket bromsas vattnet upp och ökar uppehållstiden i systemet. Detta ger en utjämnande effekt på vattenflödena och erosionen minskar samtidigt som naturens egna reningsprocesser förstärks då förutsättningar skapas för denitrifikation och sedimentation i partier med lugnflytande vatten där fosfor fastläggs.
 - Avfasning av strandzonen längs diken ger ett större utrymme för vattenmassor vid högflöden och översvämningar av omgivande åkermark minskar, det verkar också utjämnande på vattenflödena nedströms. Det innebär också att vegetation lättare etableras vilket stabiliserar strandkanten och minskar erosionen, vegetationen som tidvis är vattentäkt och fungerar som ett översilningsområde ökar sedimentationen och denitrifikationen.
- Tillstånd enligt miljöbalken till djurhållande jordbruk har som regel förenats med villkor för att begränsa utsläppen av gödande ämnen i sjöar

och vattendrag och hav. Kraven har anpassats efter miljöns känslighet och har inte bedömts vara orimliga. De kan därför vara ändamålsenliga även för områden som påverkar kustvatten med övergödningssproblem. Markkartering, upprättande av växtnärlingsbalans, reglerade spridningstider för kvävegödsling och spridningsfria zoner längs vattendrag är exempel på villkor som ställs.

- Vallbrott på våren i stället för på hösten ger en reduktion av utlakningsförlusterna. På lerjordar är detta dock inte lika lämpligt då strukturskador uppstår.
- Höst- eller vinterbevuxen åkermark minskar näringsläckaget och är önskvärd. Dock utgörs en del av den höst- eller vinterbevuxna marken av höstsäd och eftersom höstsäden orsakar lika stor utlakning som vårsäd är det tveksamt om den höstsådda arealen bör ingå i höst- eller vinterbevuxen mark.
- Rådgivning till jordbrukare som sker inom Greppa Näringen är ett mycket viktigt verktyg för att komma åt läckaget från jordbruket och bör prioriteras. En intensivare tillsyn av jordbruksföretag kan också vara viktig.
- Inledningsvis bör ett lättfattligt informationsmaterial som beskriver miljöproblem och möjliga praktiska åtgärder, inklusive skötsel, tas fram.
- I ett nytt program bör kommunekologer, markägare, jordbruksrådgivare och Länsstyrelsen samverka och för administrationen av ersättningar bör erfarenheter hämtas från de s.k. LIP-programmen. Kommande LOVA-bidrag enligt miljöproposition 2008/09:170.

Åtgärder för kväve:

- Minska den atmosfäriska depositionen av kväve. Den viktigaste åtgärden för att reducera det s.k. bakgrundsläckaget från de svenska markerna är att med internationella åtgärder minska kväveutsläppen i Västeuropa, vilket också naturligtvis är det enda sättet att nedbringa den stora kvävedepositionen på havsytorna.
- Överoptimal kvävegödsling måste undvikas. Tillräcklig lagringskapacitet för stallgödsel och spridning av gödseln vid rätt tidpunkt kan i Bohuslän reducera näringsläckagen. Ett generellt förbud att i känsliga områden som t.ex. Bohuslän sprida stallgödsel till höstsäd under perioden 1 augusti till 15 februari och ett stallgödsel förbud på slåttervall under perioden 20 oktober till 15 februari skulle minska kväveläckaget. Myndigheternas tillsyn av stallgödselhanteringen bör prioriteras.
- Reducerad jordbearbetning vid höstsådd. Genom mindre och grundare bearbetning än vad som normalt förekommer vid odling av höstsäd kan kvävemineralsningen begränsas och mängden utlakningsbar kväve reduceras.

Åtgärder för fosfor:

Forskning och praktisk tillämpning av skyddzoner och sedimentationsdammar har visat på goda effekter. Fosforförlusterna sker till stor del under episoder med hög avrinning. Man brukar säga att 90 % av fosforförlusterna kan härstamma från 10 % av arealen och ske under 1 % av tiden under året. Detta innebär att det ofta är de lokala förutsättningarna som ger höga förluster.

- Ett omfattande program för inrättande av skyddszoner längs vattendrag och sedimentationsfällor i diken och vattendrag bör genomföras med hög prioritet. En obligatorisk zon på 2 m längs alla diken, vattendrag och sjöar bör kompletteras med bredare gräsbevuxna skyddszoner i erosionskänsliga områden
- Kartläggning för att finna områden med risk för höga fosforförluster dels genom klassificering av jordbruksmarken utifrån de viktigaste transportfaktorerna samt regelbunden markkartering vilken är en förutsättning för att kunna anpassa fosforgödslingen.
- Minska mängden lättlöslig/lättrörlig fosfor på markytan och i matjorden genom att anpassa fosforgödslingen till grödans behov och markens innehåll av fosfor.

Punktutsläpp

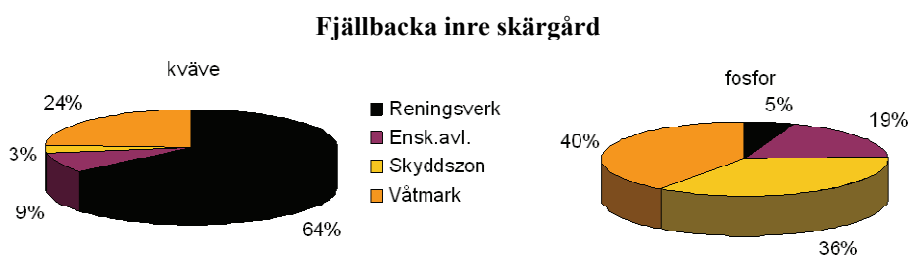
- Utsläpp från mindre kommunala reningsverk och industrier kan ha betydande negativa effekter med hänsyn till recipientens känslighet. Resultaten av denna studie bör initiera en analys av behovet av kompletterande rening vid dessa anläggningar. En sådan analys bör göras som ett särskilt projekt och dess resultat kommer att utgöra grund för de villkor som sätts vid anläggningarnas omprövningar enligt miljöbalken.
- Undvik utsläppspunkter från reningsverk i känsliga recipienter. Vid sammanslagning av avloppsreningsverk för att förbättra reningen så är en noggrann utvärdering av utsläppspunkten viktig.
- I vissa havsområden med stor andel tätort i det tillrinnande avrinningsområdet är dagvatten en betydande källa till framförallt fosfor men även för kväve. I dessa områden är det viktigt att tätorternas dagvatten behandlas innan det når recipienten för att uppnå en minskad belastning av fosfor men även för kväve.
- De enskilda avloppen svarar för en mindre men viktig del av näringstillförseln då utsläppen ofta sker i grunda känsliga områden. Bidrag för att förbättra enskilda avlopp bör ges till de sämsta avloppen och till enskilda avlopp i prioriterade känsliga områden.
- Inventering av enskilda avlopp är viktig och bör göras främst i utpekade känsliga områden och där avloppen antas vara sämst.
- Läckaget från växthusodlingar av bl.a. grönsaker kan minskas genom att införa slutna cirkulationssystem för bevattning av växthusodlingar. Det totala läckaget av näringsämnen för denna verksamhet anses dock litet i jämförelse med spannmål och potatisodling.

6.2. Effekter av åtgärder

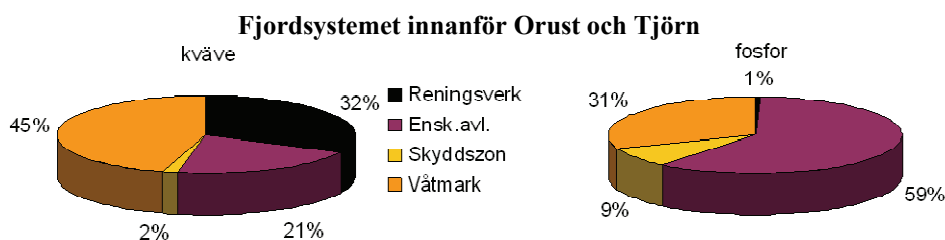
Den resulterande fördelningen av vilka källor som bidrar mest till reduktionen visar på stora skillnader mellan de olika fallstudieområdena (figur 3-6). Det är svårare att reducera kväve än fosfor då en stor del av fosfor är partikulärt bundet och kan fångas upp, medan kvävet måste tas upp av biologin. Med lokalt anpassade åtgärdsprogram i våra fallstudieområden har vi i teorin lyckats reducera 2 % - 24 % av det antropogena kvävet och 10 % - 48 % av den antropogena fosfor. Förslag på åtgärder ges i avsnitt 2.6.

Vi har konstaterat att stora delar av Bohuslän är känsligt för övergödning och att det är tydligt påverkat trots relativt liten näringstillförsel. Bohuslän är gles befolkat och har ett extensivt jordbruk som trots det läcker mycket näringsämnen, framförallt fosfor. Den glesa befolkningen innebär att reningsverken är små och har därigenom lägre reningskrav, och det innebär att det finns många enskilda avlopp. En stor mängd kväve kan därför reduceras genom förbättringar på reningsverk och enskilda avlopp som ofta ligger i känsliga recipienter (figur 3-4). Fosforrening är även i små reningsverk hög och är därför svår att förbättra ytterligare. Åtgärder inom jordbruket bidrar generellt mycket eftersom jordbruket står för en stor del av det antropogena läckaget. Åtgärder inom jordbruket är effektivast för att fånga partikulärt fosfor men våtmarker bidrar med att binda även kväve (figur 3-4).

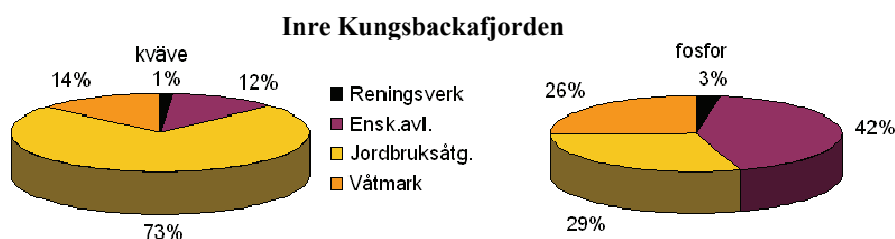
Hallands och nordvästra Skånes kustvatten är mindre känsligt för övergödning, men visar lokala övergödningssymptom. Kuststräckan har en betydligt högre belastning än Bohuslän p.g.a. av stora avrinningsområden som avvattnas till kusten. Befolkningstätheten är högre och jordbruket intensivt. Reningsverken är större och har bättre rening, vilket gör det svårt att ytterligare förbättra reningen till rimlig kostnad. De enskilda avloppen är många även i Halland och Skåne och åtgärder ger resultat (figur 5-6). Jordbruksåtgärder är nödvändiga då jordbruket bidrar med en stor del av den antropogena tillförseln av näringsämnen och ger ett viktigt bidrag. I Kungsbackaområdet har dessutom åtgärder med ändrad gödslingsstrategi och odlingsföljd simulerats och visar att kväveläckaget kan minskas väsentligt med den typen av åtgärder (figur 5-6).



Figur 3. Fördelningen av reduktionen mellan de olika källorna till kväve (vänster) och fosfor (höger). Resultaten visas för åtgärder anpassade till lokala förhållanden i avrinningsområdet till Fjällbacka inre skärgård. I åtgärdsprogrammet ingår flytt av utloppspunkten för reningsverket (förbättrad rening) till Grebbestad inre skärgård. Reduktionen utgör 19 % och 36 % av den antropogena belastningen för kväve respektive fosfor.



Figur 4. Fördelningen av reduktionen mellan de olika källorna till kväve (vänster) och fosfor (höger). Resultaten visas för åtgärder anpassade till lokala förhållanden i avrinningsområdet till fjordsystemet innanför Orust och Tjörn. Reduktionen utgör 10 % och 23 % av den antropogena belastningen för kväve respektive fosfor.

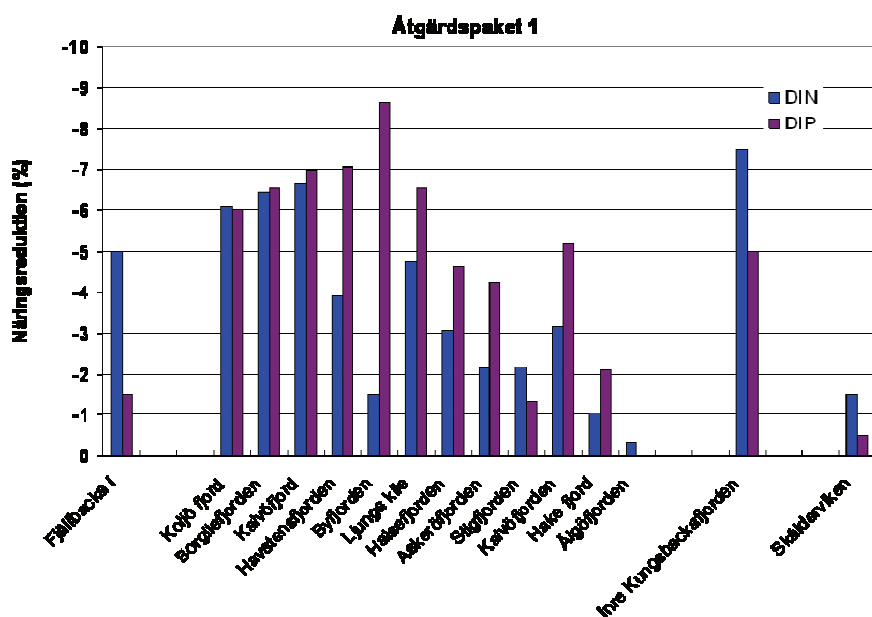


Figur 5. Fördelningen av reduktionen mellan de olika källorna till kväve (vänster) och fosfor (höger). Resultaten visas för åtgärder anpassade till lokala förhållanden i avrinningsområdet till Inre Kungsbackafjorden. Reduktionen utgör 24 % och 48 % av den antropogena belastningen för kväve respektive fosfor.

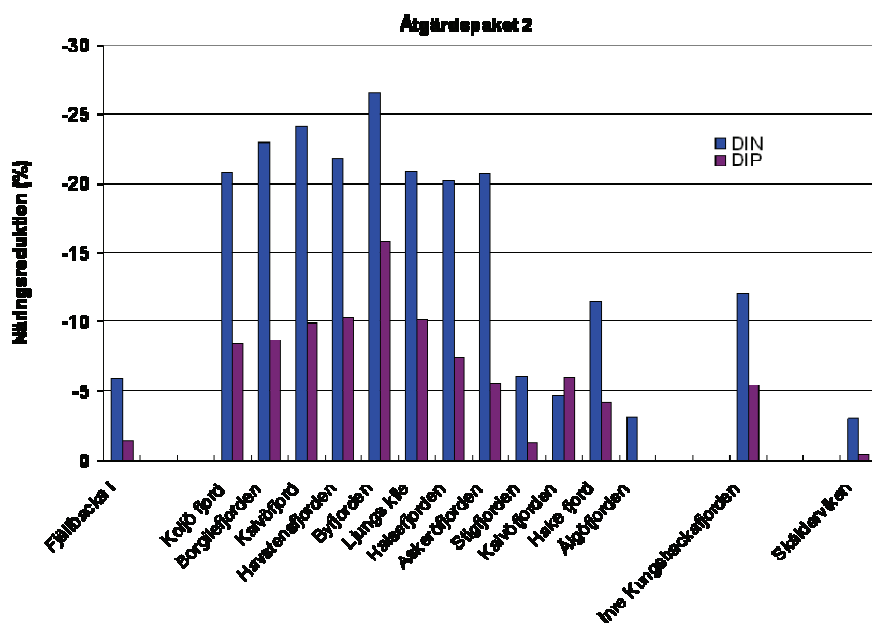


Figur 6. Fördelningen av reduktionen mellan de olika källorna till kväve (vänster) och fosfor (höger). Resultaten visas för åtgärder anpassade till lokala förhållanden i avrinningsområdet till Skälderviken. Reduktionen utgör 2 % och 10 % av den antropogena belastningen för kväve respektive fosfor.

Effekterna på havet av åtgärdspaketet har simulerats med SMHI:s kustzonmodellsystem och visas i figur 7 och 8. Modellen beräknar effekterna på kustvattenförekomstskala och alltså inte vad som sker inne i vikarna som utgör en mindre del av kustvattenförekomsterna och i många fall utgör recipienten där utsläppen mynnar.



Figur 7. Åtgärds paketens påverkan på vinterkoncentrationen av näringsämnen i de olika kustvattenförekomsterna i våra fyra fallstudieområden. Staplarna representerar förändringen (%) i vinterkoncentrationen av oorganiskt kväve (DIN) och fosfor (DIP) från två olika åtgärds paket. a) Åtgärds paket 1 är åtgärder anpassade efter lokala förhållanden i avrinningsområdena,



Figur 8. Åtgärds paketens påverkan på vinterkoncentrationen av näringsämnen i de olika kustvattenförekomsterna i våra fyra fallstudieområden. Staplarna representerar förändringen (%) i vinterkoncentrationen av oorganiskt kväve (DIN) och fosfor (DIP) från två olika åtgärds paket. Åtgärds paket 2 innefattar förutom åtgärds paket 1 dessutom utflyttning av kommunala avloppsreningsverk ut fjordsystemet/fjorden för Orust-Tjörn fjordsystem och för I Kungsbackafjorden, och en ökad areal våtmarker i Fjällbacka inre skärgård och i Skaldervikens avrinningsområde.

Effekterna av åtgärderna mot näringsläckage är störst i de mer inestängda områdena som t.ex. Orust- Tjörnfjordsystem och Inre Kungsbackafjorden (figur 7-8). Åtgärder i Skälderviken får liten effekt i kustvattenförekomsten p.g.a. en öppen kust och kort uppehållstid för vattnet. Effekterna av åtgärder måste ses strandnära. Detta gäller i viss mån även i Fjällbackaområdet som är mer inestängd men där vattenomsättningen är tillräckligt bra för att reducera effekterna på kustvattenförekomstskala. Flera av vattendragen mynnar i samma vik och även här blir de största effekterna av reduktionen i den strandnära miljön.

Större punktutsläpp som mynnar i känsliga områden bör flyttas ut där vattenomsättningen är bättre. En utflyttning av utsläppspunkten för kommunala avloppsreningsverk ger en kraftig reduktion av näringsämnen i Orust-Tjörn fjordsystem och Kungsbackafjorden (figur 8). Belastningen på Västerhavet minskar däremot inte med denna åtgärd.

Åtgärder på enskilda avlopp gynnar framförallt vattenkvalitén på den minsta skalan (vik). I vissa känsliga områden i t.ex. Orust-Tjörnområdet, där bidraget från enskilda avlopp är relativt stort kan åtgärderna vara viktiga även på kustvattenförekomstskala.

Mindre vattendrag som avvattnar jordbruksbygd har betydelse. Störst effekt av åtgärder inom t.ex. jordbruket kan förväntas strandnära i kustzonen.

7. Referenser

- Andersson, J. L., Bastviken, S. K., Tonderski, K. S. 2005. Free water surface wetlands for wastewater treatment in Sweden – nitrogen and phosphorus removal. *Wat. Sci. Tech.* 51:39-46.
- Arneborg L., 2004. Turnover times for the water above sill level in Gullmar Fjord. *Continental Shelf Research* 24: 443-460.
- Berg, A. 1982. Spring migration of some fish species between the northern Bothnian Sea and a small coastal stream. – In K. Müller (ed.): *Coastal Research in the Gulf of Bothnia*, pp. 317-351. Junk Publishers, the Hauge.
- Borum J, Duarte, C.M., Krause-Jensen, D., Greve, T.M. 2004. European seagrasses: an introduction to monitoring and management. A publication by the EU project Monitoring and Managing of European Seagrasses. The M & MS project.
- Brandt M., SMHI, pers.com. Maj 2008.
- Djordjic F., Blombäck K., Lindsjö A., Persson K., 2008. Förbättring av beräkningsmetodiken för diffus belastning av fosfor från åkermark. SMED på uppdrag av Naturvårdsverket.
- Djupfors Schwab, E. 2007. Restaurering av vattendrag. Examensarbete 2007:10, Fakulteten för landskapsplanering, trädgårds- och jordbruksvetenskap, Statens lantbruks universitet.
- Eilola, K. & Stigebrandt, A. 2001. Modelling filamentous algae mats in shallow bays. *EU Life Algae*, Rapport 2001:38.
- Ekologgruppen, 2004. Höjeåprojektet en renare å - ett rikare landskap. Slutrapport Etapp I-III. Ekologgruppen på uppdrag av Höje å vattendragsförbund.
- Engkvist, R., Malm, T., Svensson, A., Asplund, L., Isaeus, M., Kautsky, L., Greger, M., Landberg, T. 2001. Makroalgbloomingar längs Ölands kuster, effekter på det lokala näringslivet och det marina ekosystemet. Rapport 2001:2. Högskolan i Kalmar.
- Eriksson, L. O. & Müller, K. 1982. The importance of a small river for recruitment of coastal fish populations. – In K. Müller (ed.): *Coastal Research in the Gulf of Bothnia*, pp. 317-351. Junk Publishers, the Hauge Erftemeijer
- Fiskeriverket och Naturvårdsverket 2008. *Ekologisk restaurering av vattendrag*. Naturvårdsverket ISBN 978-91-620-1270-0. Fiskeriverket ISBN 978-91-972770-4-4.
- Green EP, Short FT, eds. 2003. *World Atlas of Seagrasses*, Berkeley: University of California Press.
- Haamer, J., Holm, A.S., Edebo, L., Lindahl, O., Norén, F., Hernroth, B. 1999. Strategisk musselodling för att skapa kretslopp och balans i ekosystemet – kunskapsöversikt och förslag till åtgärder. Fiskeriverket, Kustfiskelaboratoriet. Rapport från SUCOZOMA-programmet.

- Hagerberg, A., Krook, J., Reuterskiöld, D. 2004. Ekologgruppen i Landskrona AB. Åmansboken: vård, skötsel och restaurering av åar i jordbruksbygd. Saxån-Braåns vattenvårdskommitté. Wallin&Dahlbom Boktryckeri AB.
- Hansson, L-A. 2008. Kan Östersjön restaureras? – Baserat på erfarenheter från sjöar. Del 1. Biomanipulering som restaureringsverktyg – kunskapssammanställning för limniska och marina system. Naturvårdsverket Rapport 586.
- Harlén, A. & Zackrisson, A-C. 2001. Ekonomisk analys av algskörd och användning av fintrådiga alger. EU Life Algae, Rapport 2001:42.
- Hellberg L., 2004. RENT-VATTEN i Öresundsregionen – en åtgärdsinventering. RENT-VATTEN.
- IVL Svenska Miljöinstitutet AB, 2008. Uppföljning förstudie åtgärdskostnad för Vattenmyndigheten. Arkiv nr. U2321.
- Karås, P. 1999. Rekryteringsmiljöer för kustbestånd av abborre, gädda och gös = Recruitment areas for stocks of perch, pike and pikeperch in the Baltic. 1999. Fiskeriverket, Göteborg
- Kautsky, N., Kautsky, H., Kautsky, U., Waern, M. 1986. Decreased depth penetration of *Fucus vesiculosus* (L.) since the 1940's indicates eutrophication of the Baltic Sea. Mar. Ecol. Prog. Ser. Volume 28, pp 1-8.
- Lagesson H., Norling K., Oscarsson O., 2005. Många bäcker små. Länsstyrelsen i Västra Götalands län. Rapport 2005:49.
- Leonardsson, L. 1994. Våtmarker som kvävefällor: Svenska och internationella erfarenheter. Naturvårdsverket Rapport 4176.
- Lindahl, S. 2001. Vägbankars inverkan på vattencirkulationen i grunda havsvikar. EU Life Algae, Rapport 2001:40.
- Ljunggren, L., Sandström, A., Johansson, G., Sundblad, G., Karås, P. 2005. Rekryteringsproblem hos Östersjöns kustfiskbestånd. Finfo 2005:5.
- Loreth, T. 2005. Quantification of one spring fish migration in a small coastal stream in the Forsmark area, Sweden. Degree project in Limnology, 20 p. Department of Limnology, Evolutionary Biology Centre. Uppsala University.
- Marmefeldt E., Olsson H., Lindow H., Svensson* J., 2004. Integrerat kustzonssystem för Bohusläns skärgård. Rapport Oceanografi Nr.76. SMHI och Thalassos Computations*.
- Moksnes P-O, Gullström M, Tryman K, Baden S. 2008. Trophic cascades in a temperate seagrass community. *Oikos* 117:763-777.
- Naturvårdsverket. 2006. Restaurering av vattendrag i ett landskapsperspektiv. Rapport 5565.
- Naturvårdsverket. 2006 a. Näringsbelastningen i Östersjön och Västerhavet. Rapport 5815.
- Naturvårdsverket. 2006 b. Läckage av näringsämnen från svensk åkermark. Rapport 5823.

- Naturvårdsverket, 2007. Bilaga 1. Konsekvensanalys delmål 1 och 2 Ingen Övergödning. Preliminär rapport.
- Nihlén, C. 1996. Skyddszoner utmed vattendrag på kommunägd mark. Helsingborg Stadsbyggnadskontoret.
- Orth RJ, et al. 2006. A global crisis for seagrass ecosystems. *Bioscience*. 56:987-996.
- Pedersen, M., Björk, M., Larsson, C., Söderlund, S. 1990. Ett marint ekosystem i obalans – dramatiska förändringar av hårbottnarnas växtsamhällen. *Fauna och Flora* vol. 85 (3-4): 202-211.
- Persson, P., Axelsson, L., Ståhl Delbanco, A. 2005. Reningseffekt och kostnadseffektivitet i Nordvästskånska våtmarksanläggningar. Miljökontoret i Helsingborg i samarbete med Rååns vattendragsförbund.
- Pihl, L., Magnusson, G., Isaksson, I. & Wallentinus, I. 1996. Distribution and growth dynamics of ephemeral macroalgae in shallow bays on the Swedish west coast. *Neth. J. Sea Res.* 35 (1-3): 169-180.
- Salonsaari, J. 2002. Fish community structure in enclosing bays - Effects of habitat use and seasonal patterns of migration and isolation. Masters degree thesis, 20p. Department of Ecology and Environmental Science. Umeå University 2002.
- Sandström, A., 2003. Restaurering och bevarande av lek- och uppväxtområden för kustfiskbestånd. Fiskeriverket, FINFO 2003:3.
- Stigebrandt, A., B. Liljebladh, P. Hall, L. Rahm, L. Arneborg, A. Tengberg och D. Turner (2008): BOX – a pilot study to evaluate effects of possible Baltic deep water Oxygenation.
- Svahn, Jarl Länsfiskekonsulent, Länsstyrelsen Västra Götands län, pers. kom. 2008-12-08
- Svane, I. & Gröndahl, F. 1989. Epibioses of Gullmarsfjorden: an underwater stereographical transect analysis in comparison with the investigations of Gislén in 1926-29. *Ophelia* 28: 95-110.
- Svedäng H. 2003. The inshore demersal fish community on the Swedish Skagerrak coast: regulation by recruitment from offshore sources. *ICES Journal of Marine Science* 60: 23-31.
- Svedäng H. & Bardon G. 2003. Spatial and temporal aspects of the decline in cod (*Gadus morhua* L.) abundance in the Kattegat and eastern Skagerrak. *ICES J. of Mar. Sci.* 60: 32-37.
- Sveistrup T. E., Baskerud B.C., 2005. Bygg fangdammene naer jordet! Jordforsk nytt.
- Syversen N., 2005. Effect and design of buffer zones in the Nordic climate: The influence of width, amount of surface runoff, seasonal variation and vegetation type on retention efficiency for nutrient and particle runoff.
- Tonderski, K., Weisner, S., Landin, J., Oscarsson, H. 2002. Våtmarksboken – Skapande och nyttjande av värdefulla våtmarker. VASTRA rapport 3. Tryckeri: AB C O Ekblad & Co, Västervik 2002. ISBN 91-631-2737-7.

Thorman, S. 1983. Patterns and structuring mechanisms in shallow water fish communities in Sweden. Doctoral Thesis. Dept. Of Zoology. Acta Universitatis Uppsaliensis.

Thorman, S. 1986. Seasonal colonization and effects of salinity and temperature on species richness and abundance of fish of some brackish and estuarine shallow waters in Sweden.

Vought, L.B.M., Dahl, J., Lauge Pederson, C., Lacouisière, J.O. 1994. Nutrient retention in riparian ecotones. *Ambio* 23: 342-348.

Wallenberg, P., Persson, T., Belhaj, M., Olshammar, M., Ek, M. 2008. Uppföljning förstudie åtgärdskostnad för Vattenmyndigheten, för Vattenmyndigheten. IVL Svenska Miljöinstitutet.

Öberg, J. 2005. Model simulations of conditions suitable for the establishment of *Enteromorpha* sp. (Chlorophyta) macroalgal mats. *Mar. Biol. Res.* 1: 97-106.