

En fallstudie av kustvattenförekomsterna i

Fjordsystemet innanför Orust och Tjörn

En bedömning av åtgärdspotentialen i avrinningsområdet för en minskad näringsbelastning och dess effekter i havet

Text: Hans Lann¹, Carina P. Erlandsson¹, Elin Ruist¹,
Ingela Isaksson¹, Markus Klingberg¹

¹ Länsstyrelsen Västra Götalands län

Innehållsförteckning

1.	Inledning	4
1.1.	Allmänt om Tjörn-Orust-området	4
2.	Områdesbeskrivning	8
2.1.	Fjordsystemet innanför Orust och Tjörn.....	8
	Hydrografi	8
	Marinbiologi	12
2.2.	Avrinningsområdet.....	15
	Markanvändning.....	15
	Sjöar och vattendrag.....	16
	Punktkällor.....	16
3.	Belastning från land och atmosfär.....	19
3.1.	Modellerad belastning.....	19
3.2.	Bidraget från vattendrag.....	23
3.3.	Utsläpp från avloppsreningsverk och industri.....	29
4.	Åtgärder	30
4.1.	Vidtagna åtgärder	30
4.2.	Planerade åtgärder	31
5.	Ytterligare närsaltsreducerande åtgärder	33
5.1.	Åtgärder inom jordbruket	33
	Våtmarker och dammar.....	34
	Skydds-zoner	35
5.2.	Erosionsbegränsande åtgärd.....	36
5.3.	Enskilda avlopp	36
5.4.	Mottagningsanläggningar för toa-avlopp från fritidsbåtar	36
5.5.	Musselodlingar	36
5.6.	Öppnande av vägbankar för ökad vattengenomströmning	37
6.	Modellsimulering	39
6.1.	Åtgärdspaket.....	39
	Reningsverk.....	39
	Enskilda avlopp.....	39
	Skydds-zon på åkermark	40
	Våtmark på åkermark	41
6.2.	Åtgärdernas effekt på landtillförseln	42
6.3.	Åtgärdernas effekt på havet	45
	Resultat på kustvattenförekomstnivå.....	45
	Resultat på viknivå.....	49
7.	Slutsatser.....	50
8.	Referenser	52
	Bilagor:.....	55

1. Inledning

1.1. Allmänt om Tjörn-Orust-området

För södra Bohuslän har projektet för en särskild fallstudie valt ut fjordsystemet innanför Tjörn och Orust (figur 1). Det begränsade vattenutbytet gör fjordsystemet eutrofieringskänsligt, vilket t.ex. visar sig i form tillväxt av snabbväxande makroalger i de grunda vikarna och låga syrekoncentrationer i fjordarnas djupvatten.



Figur 1. Avrinningsområden till fjordarna innanför Orust och Tjörn.

Syftet med fallstudien är att ta fram ett realistiskt åtgärds paket för att minska näringstillförseln från land baserat på områdets karaktär. Åtgärds paketet simuleras i modeller för att se hur åtgärderna påverkar ytvattnet i fjordsystemet, både på kustvattenförekomsts- och vikskala.

Avrinningsområdet till det studerade fjordsystemet omfattar kommunerna Uddevalla, Stenungsund, Orust, Tjörn och Kungälv. Mindre delar av Vänersborgs och Lilla Edets kommuner ingår i det studerade avrinningsområdet (figur 1) för kommunindelning och avrinningsområden). Delar av dessa kommuner är belägna utanför det avrinningsområde som fallstudien omfattar, bl.a. de delar av Uddevalla kommun som avrinner mot Gullmarn, delar av Orust och Tjörn som har avrinningsområde ut mot västerhavet och ej in mot fjordsystemet, samt södra delen av Kungälvs kommun med avrinningsområden mot Marstrandsfjorden och Sälö fjord. Antalet invånare i kommunerna visas i tabell 1. Den största delen av kommuninvånarna bor i avrinningsområdet till fjordsystemet innanför Orust och Tjörn.

Tabell 1. Folkmängden vid årsskiftet 2007/2008 i kommunerna runt Orust-Tjörn fjordsystem.

Kommun	Folkmängd
Uddevalla	50 921
Kungälv	39 649
Orust	15 373
Tjörn	14 944
Stenungsund	23 387

Studien behandlar kustvattenförekomsterna innanför Orust och Tjörn med avrinningsområden från Malö Strömmar i norr till och med Älgöfjorden i söder, och Stigfjorden samt Kalvöfjorden mellan Orust och Tjörn.

Inom hela området finns flertalet naturreservat och områden utpekade enligt olika EU-direktiv samt flertalet kustmynnande vattendrag med dokumenterad förekomst av lax och havsöring vilket sammantaget vittnar om en marin miljö med höga skyddsvärda miljöer (Figur 2).



Halsefjorden

Foto: Elin Ruist



Halsefjorden

Foto: Elin Ruist



Figur 2. Skyddsområden i området Orust-Tjörn. Ljusgrön markering är områden skyddade enligt art och habitatdirektivet och/eller fågeldirektivet. Ljustrigering markerar områdets naturreservat samt blå markering fiskfredningsområden.

Byfjorden längst in i fjordsystemet har länge utgjort ”hjärtat” för yrkessjöfarten i fjordsystemen innanför Orust och Tjörn. Hamnverksamheten har inneburit en stor påverkan på den marina miljön i fjorden. Stora grundområden har tagits i anspråk, vilket nödvändiggjort omfattande muddringsarbeten. Muddermassorna har tippats i Byfjordens djupa del, där fortfarande en tippningsplats finns utpekad. Fjordens mynning har muddrats flera gånger för att utöka både djup och bredd. Naturreservat, badplatser, vandringsleder och kurorten Gustavsberg utgör betydande bevarandevärden runt fjorden.

Havstensfjorden anses näst efter Stigfjorden och Halsefjorden mellan Tjörn och Orust som det viktigaste marina fågelområdet i Bohuslän. Omgivningarna utgörs av en mosaik av strandängar, strandlövskogar och åkermarker. Havstensfjordens betydelse för yrkes- och sportfisket har minskat sedan decennier tillbaka bland annat på grund av övergödningseffekter. Fram till början av 1900-talet fanns det ett 10-tal

fiskelag som försörjde sig på sill-, skarpsill- och torskfiske. Tummlaren, som varit försvunnen i flera årtionden sedan 1970-talet, har återkommit som sommargäst, medan knobbsälen ses under större delen av den isfria tiden (Uddevalla kommuns hemsida).

Askeröfjorden utgör recipient för renat avloppsvatten från Stenungsunds petrokemiska industrier och Stenungsunds kommun (Strävlidens avloppsreningsverk). Dessutom sker uttag och utsläpp av kylvatten från industrianläggningarna. Djuphålan, ca 35 m djup, söder om Almöbron har använts för deponi av muddermassor.

I Stigfjorden utgör Kalvöfjorden och Tjuve kile i den grunda norra delen av Stigfjorden samt Sundsby kile öster om Mjörn några av kustens rikaste fågellokaler. Under vår och höst gör den rika produktionen i vattnet och på strandängarna området till näringsplats för tusentals änder, gäss, svanar och vadarfåglar. Stigfjorden, är utpekad som Natura 2000 område både med avseende på fågeldirektivet (SPA) och art- och habitatdirektivet (pSCI). Stigfjorden är sedan 1988 med utvidgning 2001, då också Halsefjorden inkluderades, ett Ramsarområde. Utpekandet som Ramsarområde bygger på att området utgör ett representativt exempel på en delvis påverkad våtmarkstyp (grund marin miljö) inom EU:s kontinentala region. Området hyser flera rödlistade fågel- och växtarter och som är särskilt typiska för EU:s kontinentala region. Området är populärt för båtliv, paddling och bad. Det är också viktigt för fisket.

Kuststräckan utmed Hakefjorden från Stenungsön i norr till kommungränsen i söder är sedan 1988 naturreservat. Även vattenområdet som till stor del består av grundområden är skyddade som ett Natura 2000 område (Fig. 2).

2. Områdesbeskrivning

2.1. Fjordsystemet innanför Orust och Tjörn

Inom studien behandlas:

Norr om Orust: Kalvöfjord – Borgilefjord – Koljö fjord – Malöströmmar.

Från norr till söder: Byfjorden – Havstensfjorden med Ljungs kile – Halsefjorden – Askeröfjorden – Hakefjorden – Älgöfjorden.

Mellan Tjörn och Orust: Stigfjorden och Kalvöfjorden.

Hydrografi

Tjörn-Orustsystemet består av flera tröskelfjordar som byter vatten med varandra. I flera av fjordarna finns observationsserier av hydrografiparametrar från mitten av 1980-talet (tabell 2). Vi kan därför beskriva tillståndet i systemet från vinterobservationer av närsalter, sommarobservationer av klorofyllkoncentrationer, och av syrekoncentrationens årscykel.

Generellt kan man säga att skiktningen utanför fjordsystemet importeras in i fjordsystemet. Det ger en skarp salthaltsgradient (språngskikt) mellan det mindre salta ytvattnet som består i huvudsak av Kattegattvatten och det saltare Skagerrakvattnet. Språngskiktet ligger på ca 15 meters djup men varierar vertikalt på både korta (dagar) och längre tidsskalor. Språngskiktets vertikala rörelse driver den största delen av vattenutbytet mellan bassängerna (Aure et al. 1996, Björk et al. 2000). Den största transporten av näringsämnen från framförallt Byfjorden går söderut via Hakefjorden, men det är en nordgående nettotransport av havsvatten genom systemet p.g.a. skillnaden i färskvatteninnehåll i kustvattnets ytvatten söder och norr om Orust- och Tjörnområdet.

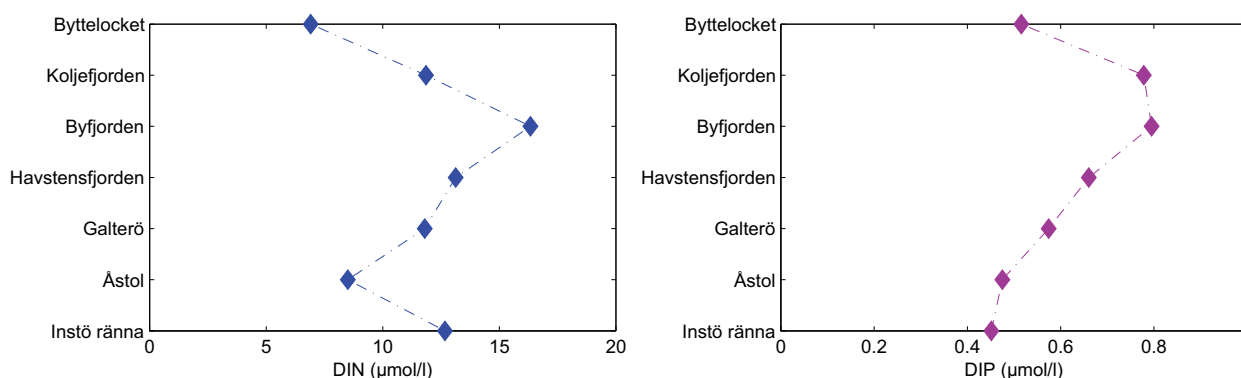
Fjordarna norr om Orust; Kalvöfjord, Borgilefjorden, Koljö fjord och Malö Strömmar

Malö strömmar är den smala och grunda passage som förbinder Koljö fjord med Skagerrak. Tröskeln är 8 m djup och som hörs av namnet är strömmarna starka. Koljö fjord förbinds med Havstensfjorden via Kalvöfjord och Borgilefjorden. Tröskeln mellan Koljö fjord och Havstensfjorden är 12 m djup. Koljö fjord har ett maxdjup på 56 m och pga av de smala förbindelserna en lång uppehållstid för ytvatten på ca 100 dagar (Björk et al. 2000). Stagnationsperioden för Koljö fjords djupvatten kan vara flera år. Fjorden har en lägre salthalt i djupvattnet än angränsande Havstensfjorden och alltså en svagare skiktning mellan vattnen över och under pyknoklinen. Det beror på blandningen i Nötesund då nytt djupvatten tränger in från Havstensfjorden. Salthalten i Koljö fjords djupvatten är ca 28 psu jämfört med samma djup i Havstensfjorden och som har en salthalt på ca 31 psu (Liungman et al. 1996). En mindre del (ca 1/3) av närsaltstransporten från Byfjorden går norrut genom fjordarna norr om Orust enligt SMH:s kustzonsmodellssystem. Koljö fjorden har förhöjda närsaltskoncentrationer under

vintern. Framförallt gäller det fosfat vilket delvis beror på utbytet med djupvattnet men även tillförsel från land (figur 3). Närsalter som anrikats i fjorden under hösten och vintern blir kvar pga den långa uppehållstiden i ytvattnet och bidrar därför troligen även under vårbloomingen. Medelklorofyllkoncentrationen är något förhöjd under sommaren (figur 4) men lägre än vid övriga stationer i Tjörn-Orustsystemet. Syrekoncentrationen i Koljö fjord är de flesta år nere på kritiskt låga värden (< 1 ml/l), speciellt under de perioder med stagnationsperioder på flera år.

Tabell 2. Definition av stationsnumreringen i figur 3 a och b och i figur 4. I tabellen anges även längden på observationsserierna och kvoten mellan oorganisk kväve (DIN) och oorganisk fosfor (DIP) vid de olika stationerna (vintervärden).

Stations-namn	Byttelocket	Kolje-fjorden	Byfjorden	Havstens-fjorden	Galterö	Åstol	Instö ränna
Kustvattenf örekomst	Kungshamnss skärgård	Kolje-fjorden	Byfjorden	Havstens-fjorden	Halse-fjorden	Marstrands-fjorden	Älgöfjorden
Observ. period	85-07	85-07	85-07	88-07	88-07	88-07	85-07
DIN/DIP	13.4	15.2	20.5	19.9	20.5	17.9	28.1



Figur 3. Vintermedelkoncentrationen (dec-jan) av a) oorganisk kväve (DIN) och b) oorganisk fosfor (DIP) i ytvattnet (0-10 m) vid mätstationerna i fjordsystemet jämfört med kustvattnet utanför. Stationerna kan ses i figur 1.

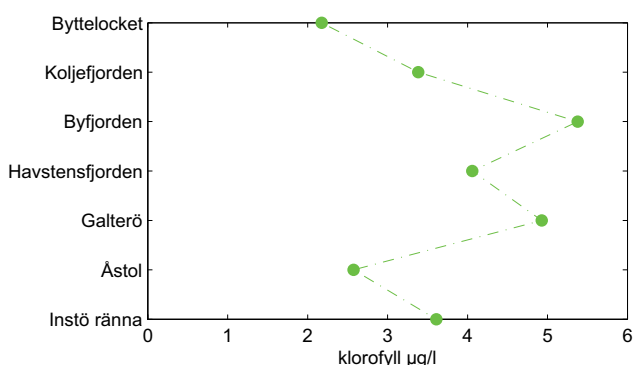
Byfjorden

Längst in i systemet ligger Byfjorden och mottar största mängden färskvatten och näring från land. I kombination med stor tillrinning från Bäveån och utsläppet från reningsverket Skansverket i Uddevalla blir Byfjorden kraftigt belastat med näringsämnen fosfor och kväve. Vinterkoncentrationen av näringsämnen i ytvattnet är klart förhöjda jämfört med övriga bassänger innanför Orust och Tjörn, och speciellt jämfört med ytvattnet utanför fjordsystemet (figur 3), och det är även klorofyllkoncentrationen under sommaren (figur 4). Tröskelns maxdjup är ca 13 m och skiljer ytvattnet med kortare uppehållstid från djupvattnet som har en

uppehållstid på flera år. Syreförhållandet är därför dåligt med permanent syrefritt djupvatten, utan vid de enstaka inbrotten av syrerikt nytt djupvatten. Syret förbrukas dock snabbt vid dessa tillfällen. Djupvattenutbyten tillför näringsämnen till ytvattnet då det näringsrika djupvattnet lyfts upp av nytt tyngre vatten som strömmar in i fjorden. Över tröskeln består vattnet av ett bräckt tunnare ytlager och ett tjockare intermediärt lager (Kattegattvatten), med underliggande Skagerrakvatten. Vattenutbytet mellan Byfjorden och Havstensfjorden efter senaste muddringen som genomfördes 1996-1997 har beräknats av Viktorsson (2007) och uppehållstiden för vattnet ovanför tröskeldjupet är ca 7 dagar (långtidsmedelvärde, 1996-2006, beräkningarna utgår från djupförhållandena efter muddringen under vintern 1996-97).

Havstensfjorden och Ljungs kile

Havstensfjorden är ca 25 km lång och har ett maxdjup på 56 m, medan medeldjupet ligger på strax över 20 m. Strandlinjen är relativt brant längs Orust bortsatt från några grunda vikar. Den östra sidan av fjorden utgörs av relativt stora grundområden innanför bl a Strande ö och Restenäs ö (< 2 m djup). I den norra ändan av fjorden ligger Svältekile som i de inre delarna också är grund. Ytvattnet i Havstensfjorden har en lång uppehållstid på ca 80 dagar (Björk et al. 2000) och näringskoncentrationerna är därför även här förhöjda pga framförallt tillförseln från Byfjorden, men också pga av upplyft av näringsrikt djupvatten vid tillfällen då nytt djupvatten strömmar in. Även klorofyllkoncentrationen under sommaren är förhöjd, men både närings- och klorofyllkoncentrationer är lägre än i Byfjorden (figur 3 och 4). Tröskeldjupet mellan Halsefjorden i söder och Havstensfjorden är 20 m djup. Djupvattnet byts normalt varje år under vintern, men låga syrehalter (< 1 ml/l) uppstår årligen under senhösten innan nytt djupvatten tränger över tröskeln i söder. Ljungs kile har en öppen förbindelse med Havstensfjorden utan någon tröskel och har därför inget stagnant djupvatten. Djupet är ca 13 meter ute i kilen men grundar upp i de inre delarna. Vi antar att observationerna i Havstensfjordens ytvatten även är representativt för Ljungs kile, med undantag av dess grunda inre delar.



Figur 4. Medelklorofyllkoncentrationen (juni-aug) i ytvattnet (0-10 meter) vid stationerna i och utanför Orust-Tjörnområdet (se tabell 2 och figur 1).

Halsefjorden och Askeröfjorden

I de innesängda vattnen innanför både Orust och Tjörn ligger Halsefjorden och Askeröfjorden. Vattenutbytet är begränsat och det största vattenflödet och näringstransporten går från Havstensfjorden vidare ut via Hakefjorden och tillbaka. Även förbindelsen med Hakefjorden är begränsad av öar och vattnets uppehållstid i de två fjordarna är därför relativt lång. I Halsefjordens norra och västra del finns

stora grundområden och det gäller även den västra delen av Askeröfjorden dvs innanför Lilla och Stora Askerö. Förutom näringstransporter från Havstensfjorden och Hakefjorden så bidrar Stenungsundsområdet lokalt. Station 5 (Galterö) som ligger i farleden i Halsefjorden visar på förhöjda närsalter (figur 3), dock lägre än i Havstensfjorden. Klorofyllkoncentrationen däremot är näst Byfjorden den högsta i fjordsystemet (figur 4). Halsefjorden och Askeröfjorden är i stora delar 12-15 m djupa, men i farleden är det 25-40 m djupt. Förbindelsen mellan Askeröfjorden och Hakefjorden är ca 40 m djup och saknar tröskel. Djupvattnet är därför inte stagnant, men syresituationen vid botten varierar med årstiden. Syrekoncentrationen är 2-4 ml/l då den är som lägst under hösten, och antar enligt mätdata normalt inga kritiskt låga nivåer.

Fjordarna mellan Orust och Tjörn; Stigfjorden och Kalvöfjorden

Stigfjorden utgör ett innanhav i miniatyr mellan Orust och Tjörn och står i förbindelse med havet genom trånga men segelbara sund i väster och öster. Vattenutbytet mellan Askeröfjorden och Stigfjorden sker via Skåpesund ett relativt djupt (13 m) men smalt sund, vilket resulterar i ett begränsat vattenutbyte med vattnen innanför Orust och Tjörn. Stora delar av Stigfjordens östra delar och även den södra stranden mot Tjörn är grunda (<2 m). Ute i fjorden är det ca 10-12 m djupt och förbindelsen ut till havet är minst lika djup. Vi har alltså inget stagnant djupvatten i fjorden, men de smala förbindelserna även ut till havet i väster gör att uppehållstiden för vattnet i fjorden fördröjs. Stigfjorden och Kalvöfjorden, inkl. Hästeskärsfjorden, begränsas i öster av ön Mjörn och i väster av sunden mellan Björnholmen och Vannholmen. Kalvöfjorden begränsas i söder mot Stigfjorden av flera öar som påverkar vattenutbytet mellan fjordarna. Hela Kalvöfjorden utgörs av ett grundområde där nästan hela fjorden har ett djup under 2 meter. Inga observationer av hydrografiparametrar finns men SMHI:s kustzonsmodell indikerar att koncentrationerna av oorganiskt kväve (DIN) och oorganiskt fosfor (DIP) i Kalvöfjorden är betydligt högre än i Stigfjorden. De lägre koncentrationerna i Stigfjorden beror på utbytet med kustvattnet utanför fjordsystemet som har lägre koncentrationer av näringsämnen. Koncentrationerna i Kalvöfjorden är jämförbara med koncentrationerna i Halsefjorden och Askeröfjorden, men eftersom Kalvöfjorden gränsar till Stigfjorden som har lägre halter så är det den lokala tillförseln till Kalvöfjorden som bidrar till de förhöjda halterna.

Hakefjorden och Älgöfjorden

Dessa fjordar utgör de yttre södra delarna i Tjörn-Orustsystemet. Djupet ute i Hakefjorden är mellan 10-30 m, men framförallt ostsidan längs fastlandet utgörs delvis av grundområden. Längs Tjörnsidan är strandlinjen generellt brantare. Det finns inga trösklar som begränsar vattenutbyte och fjordarna har därför inget stagnant djupvatten. Station (6) Åstol ligger i Marstandfjorden utanför Älgöfjorden och vi har därför inga observationer av hydrografi i Hakefjorden och Älgöfjorden. Modellen visar på något högre koncentrationer inåt i systemet, dvs i Hakefjorden, än i Älgöfjorden som har koncentrationer jämförbara med kustvattnet utanför (se station (6) i figur 3). Via Instö ränna (station 7) tillförs Älgöfjorden vatten från Nordre älv och observationer visar på förhöjda koncentrationer av oorganiskt kväve (DIN), men oorganiskt fosfor (DIP) visar dock inte på förhöjda koncentrationer vid stationen.

Marinbiologi

Havstensfjorden utgörs till viss del av grunda mjukbottnar med blåmussel-, och ostron bankar samt ålgräsängar (*Zostera marina*). I Askeröfjorden samt angränsande fjordar, Hakefjorden i söder och Halsefjorden i norr, finns liksom i Havstensfjorden omfattande och mycket värdefulla grundbottnar med betydande fiskreproduktion och fågelliv. I regel förekommer ålgräs mellan 1-5 m djup på dessa grundområden. I Stigfjorden (inklusive Kalvöfjorden) finns vidsträckta ängar av ålgräs som tillsammans med de grunda lerbottnarna karakteriserar fjorden. Grundområdena bildar en mosaik av olika livsmiljöer som sammantaget utgör ett artrikt ekosystem. Försämrad vattenkvalité och ljustillgång anses som de viktigaste orsakerna till att sjögräsbestånd över hela världen minskat dramatiskt under de senaste 30 åren (Short and Wyllie-Echeverria 1996, Pihl et al. 1999, Baden et al. 2003; Borum et al. 2004). Övergödning påverkar miljön direkt via påväxt, men också indirekt via försämrad ljustillgång. Baserat på genomförda undersökningar i fem av Bohusläns kustkommuner har det påvisats att utbredningen av ålgräsängar minskat med över 50 % sedan 1980-talet. En av de värst drabbade kommunerna är Kungälv. Nyinventeringar år 2003 och 2004 av ålgräsängar i de områden i Västra Götalands län som inventerades på 1980-talet och 2000 visade att den totala utbredningen av ålgräs förändrades mycket lite under perioden 2000 till 2004 (totalt en ökning med 3 %; Nyqvist et al. *in press*). Resultaten tyder på att den kraftiga reduceringen av ålgräsets utbredning från 1980 till 2000 har avtagit, men samtidigt att ingen regional återhämtning skett. Studien visade också stora förändringar i utbredning mellan år, både inom ängar och inom kommuner. Kransalgen Axsträse (*Lamprothamnium papulosum*) utgör en rödlistad art som tidigare funnits i området. Senaste fyndtillfälle rapporteras från 1994. Vid Länsstyrelsens inventeringar 2007 inom ramen för Åtgärdsprogram för rödlistade arter återfanns inte kransalgen på någon av de tidigare rapporterade lokaler i området. Kransalgen utgör en av flera övergödningsskänliga arter och överväxt av snabbväxande makroalger framförs som en trolig orsak till artens försvinnande i det aktuella området (Blindow, 2000). Men även grävnings- och muddrarbeten vid exploatering av grundområden anses vara ytterligare ett hot mot artens förekomst. Inom ramen för det nationella marina miljöövervakningsprogrammet uppvisar fjordarna innanför Orust och Tjörn under de senaste fem åren en försämring av miljöstatus med avseende på mjukbottenfauna (Albertsson et. al., 2008). Låga syrehalter i bottenvattnet anses vara en bidragande orsak, men även förändringar i artsammansättningen. På flera platser i Koljö fjorden samt norra delen av Havstensfjorden saknades, vid 2007 års provtagning, makroskopiskt djurliv (Albertsson et. al., 2008).

Snabbväxande makroalger

Bohuskustens Vattenvårdsförbund kartlägger inom kontrollprogrammet ”Snabbväxande makroalger” via flygfotograferingar utbredningen av snabbväxande makroalger i grunda havsvikar. Sammanställning och analys av dessa data inom regeringsuppdraget ”Övergödda havsvikar” visar på mycket hög täckningsgrad främst i kustvattenförekomsterna Ellösefjorden, Kalvöfjorden samt Askeröfjorden (figur 5). Dessutom har höga till medelhöga täckningsgrader noterats i Kalvöfjord.



Figur 5. Täckningsgrad av fintrådiga alger i grunda (0-1 m djup) vikar (2-20 ha). Data baserad på Bohuskustens vattenvårdsförbunds (BVVF) kontrollprogram (1998-2007) för snabbväxande makroalger. Vid ett eller flera tillfällen under tidsperioden har en viss täckningsgrad noterats. Färgmarkeringarna visar vikens täckningsgrad 75-100% (röd); 50-74% (orange); 15-49% (gul); 10-14% (grön).

Utifrån detta material har det genomförts en bedömning vattenförekomstens status med avseende på utbredningen och förekomsten av snabbväxande makroalger. Två av områdena som utpekats som tydligt påverkade av en övergödningssituation återfinns inom Orust-Tjörn området: Askeröfjorden och Kalvöfjorden.



Figur 6. Utbredning av fintrådiga grönalger inom marina områden enligt kommunerna runt Orust-Tjörn fjordsystem.

Strax nordväst utanför analyserat område återfinns även ett ytterligare område utpekad som övergödningskänsligt område; Ellösefjorden (Huvudrapporten för regeringsuppdrag 51 b "Övergödda havsvikar")

Kommunerna har lämnat uppgifter om förekomst av snabbväxande makroalger, vilket redovisas i figur 6. *Uddevalle kommun* rapporterar inga problem i Byfjorden

men bl a i grunda delar av Havstensfjorden förekommer alger. Från *Orust kommun* rapporterar man problem med fintrådiga alger i Stigfjorden och Kalvöfjorden på den södra sidan om Orust men även på den norra sidan vid Vindön i Havstensfjorden (figur 6). *Tjörns kommun* har generellt problem i grunda vikar och trånga grunda sund, bl a i området mellan Mjörn och Tjörn. I *Stenungsunds kommun* hittar man alger i anslutning till vattendrag och området vid Stora Askerö. I *Kungälv kommun* har man problem med snabbväxande makroalger vid Instön, mellan Nordön och Vrångholmen (figur 6).

2.2. Avrinningsområdet

Markanvändning

Större delen av avrinningsområdet har en typisk bohuslänsk karaktär, ett småbrutet landskap med omväxlande åker, betesmark, skog och berg i dagen (figur 7). Hela fjordsystemets avrinningsområde, 1557 km², består till 50 % av skog, 18 % åkermark samt 32 % övrig mark, såsom berg i dagen, betesmark, sjöar och vattendrag samt vägar och tätortsmark (figur 8).

Jordarterna lera och finmo återfinns i dalgångarna runt bäckarna och åarna. I övrigt har området tunna moränjordtäcken eller berg utan vegetation. Berggrunden utgörs i hela mellersta och södra Bohuslän huvudsakligen av urberg, gnejs. Leran och finmon utnyttjas som åkermark.

Åkerarealens användning är av särskilt intresse med tanke på att åkermarken svarar för en stor del av den fosfor och kväve som tillförs fjordsystemet från land (se kap 3.). Jordbruket är huvudsakligen inriktat mot mjölkproduktion och köttdjursuppfödning. Vall och bete upptar större delen av åkerarealen, minst i Uddevalla kommun (57 %) och störst i Tjörns kommun (79 %). Spannmålsarealen upptar 12-24 % av åkerarealen i de fem kommunerna, Uddevalla, Stenungsund, Kungälv, Orust och Tjörn. För en jämförelse kan åkerarealens användning på västgötsläppen exemplifieras med förhållandena i Grästorps kommun där vall och bete endast upptar 10 % av åkerarealen och spannmålsarealen hela 60 %.

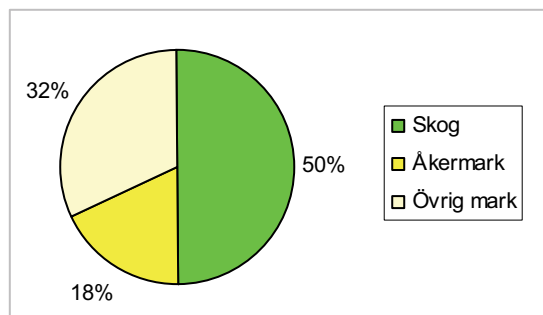


Figur. 7 Markanvändningen i avrinningsområdet till fjordsystemet innanför Orust och Tjörn.

Andelen av åkermark i träda kring fjordsystemet år 2006 varierade mellan 7 och 16 % i de fem kommunerna. Efter 2006 har andelen träda minskat. Möjligheten att få ersättning för fånggröda och vårplöjning har utnyttjats i olika utsträckning i de fem kommunerna. Ersättningen för fånggröda och vårplöjning skulle i flertalet kommuner kunna utnyttjas i större utsträckning.

Hälften av avrinningsområdet består av skogsmark. Produktionsskogsbruk drivs i mindre skala längre från kusten där gran dominerar. Dagens skogsbruksmetoder kan påverka vattenkvaliteten negativt. Under hyggesfasen kan näringsförlusterna komma upp i samma nivåer som från åkermark. Dataunderlaget är inte tillräckligt för att göra en bedömning av bidraget från skogsbruket.

Figur. 8 Den procentuella fördelningen av markanvändningen i avrinningsområdet till Orust-Tjörn fjordsystem. Övrig mark innefattar myr, betesmark, strandängar och berg utan vegetation.



Sjöar och vattendrag

Flera större sammanhängande skogs- och sjöområden finns inom avrinningsområdet (figur 7). I Byfjordens avrinningsområde, som är ett av de största, ingår skogs- och sjöområdena Öresjöområdet, Herrestadsfjället och Bredfjället. Skogsområdet Svartedalen med flera sjöar, i östra delen av Stenungsunds kommun och i den nordligaste delen av Kungälv kommun, avvattnas delvis till Hakefjorden som också har ett stort avrinningsområde (334 km²).

I fjordsystemet mynnar ett stort antal små och mellanstora vattendrag varav det största är Bäveån som mynnar i Uddevalla (se figur 15). Vattenkvaliteten övervakas inom SLUs nationella flodmynningsprogram. Det regionala miljöövervakningsprogrammet *Bohusbäckar* för kustnära vattendrag i Bohuslän med syfte att följa upp transporten av fosfor och kväve till Skagerrak inkluderar 18 av vattendragen i Orust-Tjörnområdet. Programmet drivs genom ett samarbete mellan kommunerna och Länsstyrelsen i Västra Götalands län.

Kontrollprogrammet utgörs av månatliga provtagningar vid bäckmynningarna sedan 1988. För sex av vattendragen i området analyseras även fraktionerad fosfor och kväve sedan 2004.

Punktkällor

Av de avloppsreningsverk som ligger i anslutning till fjordsystemet innanför Orust och Tjörn (figur 9) så är 5 stycken B-anläggningar (>2 000 pe) och övriga C-anläggningar >200 pe (se avsnitt (I) 4.3). Endast Uddevalla ARV (Skansverket) har en hög kväverening på 70 %, övriga verk har reningsgrader mellan 25-40 %. Effektiv fosforering är införd i högre utsträckning och de flesta verk har en reningsgrad på 90-98 %. Arbeten pågår med att minska belastningen på fjordsystemet genom att koppla in mindre reningsverk till Uddevalla ARV med bättre rening, och genom att binda ihop ledningsnäten till olika verk och förbättra utsläppspunkten och/eller reningen i det gemensamma avloppsreningsverket. Avloppsvattnet till Henån ARV överfördes under 2007 till Ellös ARV med

utsläppspunkt i en mindre känsligt område längre ut i fjordsystemet. Avloppsvattnet till Ljungskile ARV överförs till Skansverken under 2010. Varekils reningsverk vid Halsefjorden ska eventuellt anslutas till Svanesunds ARV. Ingen kväverening planeras för Svanesund, så tillståndsansökan innebär ingen förbättrad rening. En anslutning av Säckebäck, Skåpesund och Varekil till Svanesund ARV skulle innebära ett minskat utsläpp enligt kommunens beräkning.

Samtliga större industribidrag till fjordsystemet innanför Orust och Tjörn är från Stenungsundsområdet. Den kraftiga industrialiseringen i Stenungsunds kommun har bl.a. medfört att utsläppen av fosfor och kväve från industrierna till Askeröfjorden är större än de näringsläckage till fjorden som åkermarken förorsakar (figur 11 och 12). Fiskberedningsindustrierna på Orust och Tjörn ligger på utsidan fjordsystemet.

De största punktutsläppen av kväve sker där befolkningstätheten är störst, i Uddevalla-, Ljungskile- och Stenungsundsområdena. Tätortsmarken i anslutning till Uddevalla, Stenungsund och Ljungskile upptar betydande arealer och producerar stora mängder dagvatten av betydelse för närsaltstillförseln till havet.



Figur. 9. Kommunal reningsverk och industrier i Orust –Tjörnområdet.

Till de permanentboende i kommunerna kommer ett stort antal sommarboende med en stor andel enskilda avlopp. Befolkningstätheten är högst längs kusten, glesare i jord- och skogsbruksområdena. En stor andel av bebyggelsen utgörs av fritidshus. Utöver den åretruntbebyggelse som övergått till ”sommarbostäder” finns, speciellt i kustzonen, stora områden som planlagts för och bebyggts med renodlad fritidsbebyggelse. Arbete pågår för att förbättra enskilda avlopp genom förbättrad standard och genom anslutning till kommunernas VA-nät.



Foto: Elin Ruist

Stenungsundsindustrierna by night

3. Belastning från land och atmosfär

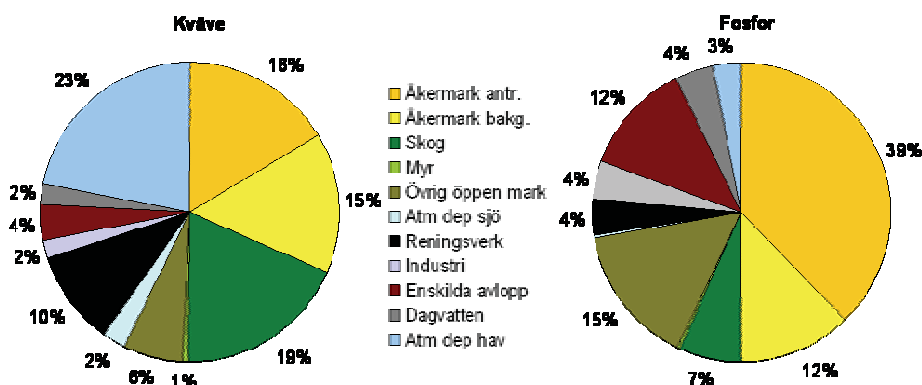
3.1. Modellerad belastning

Den totala årsbelastningen från land på fjordsystemet innanför Orust och Tjörn är 933 ton kväve och 56 ton fosfor enligt SMHI:s kustzonmodellsystem.

Källfördelningen av kväve och fosfor för den sammanlagda nettobelastningen på fjordsystemet visas i figur 10.

De enskilt största källorna till kväve är åkermarken och atmosfärisk deposition, där ca 50 % av bidraget från åkermarken är av antropogent ursprung. Åkermarkens bakgrundsbelastning har i diagrammet angivits särskilt och är den näringsbelastning som en ogödslad vall beräknas ge. Även skogen ger ett viktigt bidrag trots att den är att betrakta som en kvävesänka. Övriga källor är mindre men utgör ändå en betydande del av tillförseln.

När det gäller fosfor så är åkermarken den helt dominerande källan och den antropogena delen av åkermarken är betydligt större än bakgrundsbidraget. Åkermarksläckaget av fosfor per areal åkermark är stort, 1,0 – 1,7 kg P/ha och är åkermark runt hela fjordsystemet, med undantag av några mindre områden, bl.a. området mellan Ljungskile och Ödsmål där läckaget är lägre.



Figur 10. Källfördelning av fosfor och kväve för den sammanlagda nettobelastningen från land och atmosfär på de tretton fjordarna runt Tjörn och Orust. Övrig öppen mark är t.ex. betesmark och berg i dagen.

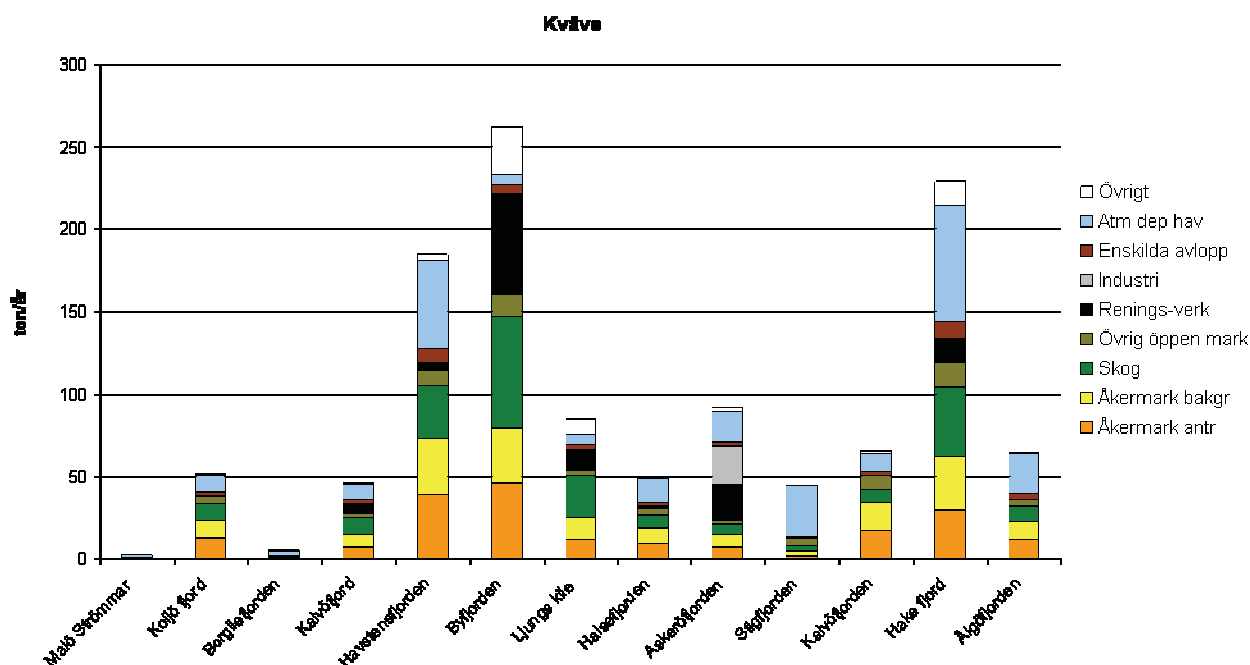
Bakgrundsbelastningen från åkermarken utgör för kväve 15 % och för fosfor 12 % av den totala fosfor- respektive kvävebelastningen från land och atmosfär. De antropogena bidragen från endast åkermarken är 16 % kväve och 39 % fosfor av den totala belastningen. Det antropogena bidraget från åkermarken är alltså förhållandevis betydligt högre för fosfor än för kväve. Enskilda avlopp står för ett betydligt större bidrag av fosfor än kväve, medan motsatsen gäller för reningsverk som i de flesta fall har en väl utbyggd fosforrening.

Byfjorden längst in i systemet mottar den största mängden kväve från land (figur 11). Skansverken som tar hand om reningen av avloppsvatten för Uddevalla stad

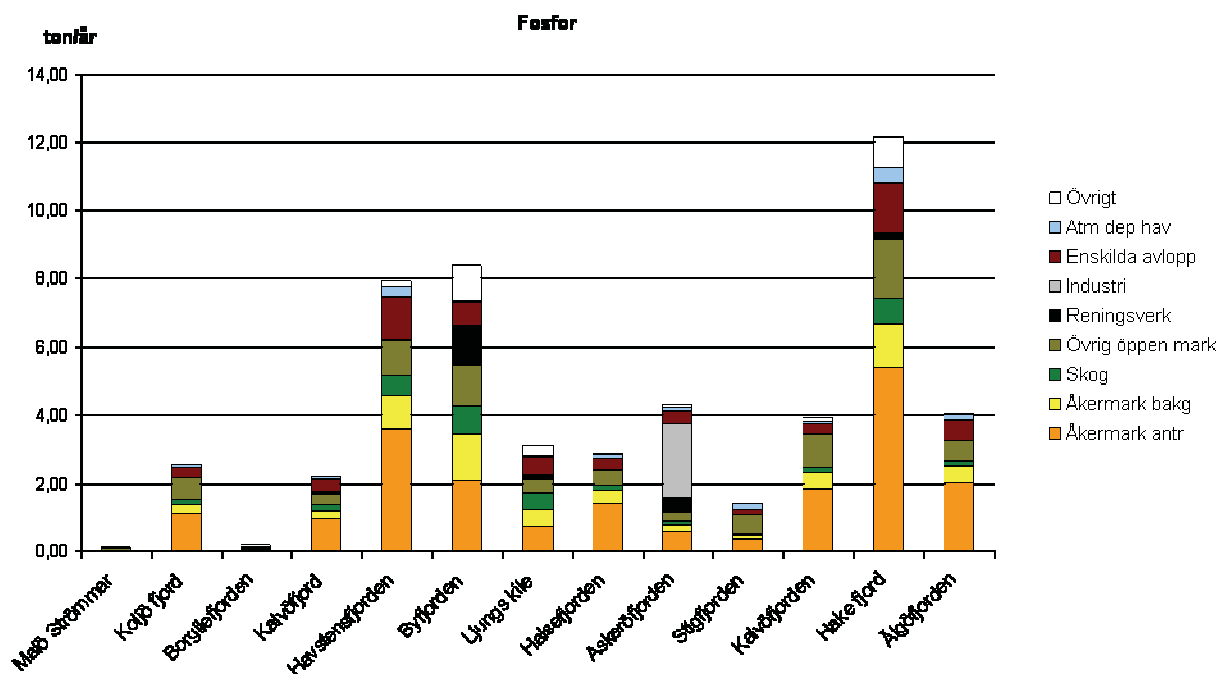
och även andra områden står för en stor del av kvävebelastningen trots att reningsverket har en hög reningseffekt med ca 70 % och över 90 % reningegrad för kväve respektive fosfor. Övriga fjordar i systemet som är högt belastade är Havstensfjorden och Hakefjorden (figur 11). Bidraget från reningsverk i dessa fjordar är relativt små, då stora avrinningsområden avvattnas och det sammanlagda bidragen från åkermark, skog, och öppen mark står för den största delen av tillförseln. Ungefär halva kvävebelastningen från åkermarken är antropogen. De stora ytarealerna gör också att depositionen från atmosfären av kväve är en viktig del av näringstillförseln. Havstensfjorden, Byfjorden och Hakefjorden dominerar tillförseln av fosfor till fjordsystemet (figur 12), men Hakefjorden är den recipient som har högst belastning av fosfor. Det största bidraget till Hakefjorden kommer från åkermarken och figur 12 indikerar att den antropogen delen av åkermarksläckaget av fosfor är stort till samtliga fjordar i systemet. Askeröfjorden är den enda recipient som mottar betydande näringstillförsel från industrin, men även reningsverket i Stenungsund bidrar tydligt till Askeröfjorden.

Notera den förhållandevis stora tillförseln av kväve via atmosfärisk deposition. Till några av fjordarna med liten landtillförsel är atmosfärisk deposition den överlägset dominerande kvävekällan.

Bidragen av kväve från enskilda avlopp är generellt små på bassängskala. Däremot är tillförseln av fosfor från enskilda avlopp viktig och utgör i flera havsområden närmare 25 % av tillförseln (figur 12). Även i de ”stora” fjordarna Havstensfjorden och Hakefjorden är bidragen av fosfor från enskilda avlopp avsevärda och överträffas endast av den antropogena delen av läckaget från åkermark.



Figur 11. Nettobelastningen av kväve från land och atmosfär till fjordarna innanför Orust och Tjörn.



Figur 12 Nettobelastningen av fosfor från land och atmosfär till fjordarna innanför Orust och Tjörn.

Trots att jordbruket i området karaktäriseras av en stor andel vallodling så har åkermarken i avrinningsområdet ett stort kväveläckage (tabell 3, figur 14a och b), varav hälften utgörs av kväve som uppkommer till följd av att åkermarken brukas aktivt dvs den antropogena delen. Den stora avrinningen (figur 13) och närheten till havet vilket ger en liten eller obetydlig retention utgör de viktigaste faktorerna till det stora läckaget (Figur 14). Sydvästra Sverige tillsammans med fjällområdena är de områden i Sverige som har de största nederbörds mängderna. För fosfor tillkommer eventuellt en okänd andel naturlig fosfor med ursprung i de marina lerorna som förekommer i Bohusläns jordar.

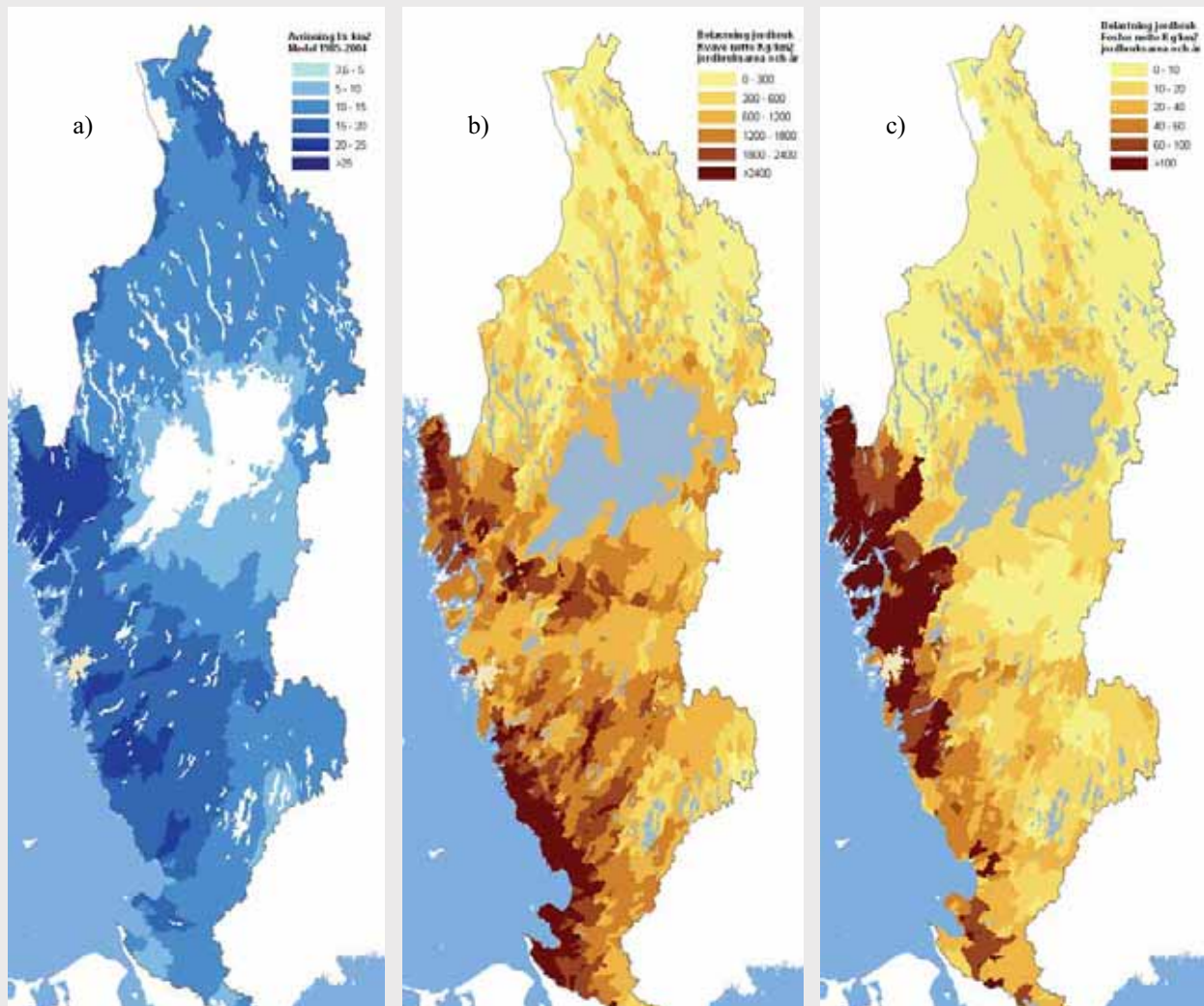
I avrinningsområdet till fjordsystemet utgör emellertid övrig mark en stor del av avrinningsområdet. Närmast havet är övrig mark (figur 7) huvudsakligen betesmark samt berg utan vegetation. Kvävenedfall från atmosfären som ej passerar bevuxen mark innan det når havet, såsom är fallet på kustnära kala berg, bidrar till kvävetransporten till havet. För att åtgärda nedfallet från luften krävs internationella åtgärder.

Åkermarkens läckage av kväve per kvadratkilometer är störst i Vallbyåns och Kollerödsbäckens/Solbergaåns avrinningsområden i norra delen av Kungälv kommun. Avrinningsområden i norra Kungälv kommun har också de största antropogena åkermarksläckagen till havet.

Åkermarksläckaget av fosfor per areal åkermark är stort, 1,0 – 1,7 kg/ha åkermark runt hela fjordsystemet, med undantag av några mindre områden där det finns sjöar i avrinningsområdet som ökar retentionen, bl.a. området mellan Ljungskile och Ödsmål. Fosforbelastningen från åkermarken i avrinningsområdet till Fjällbacka inre skärgård uppvisar motsvarande extremt höga värden, 1,8 kg P/ ha åkermark och år (se figur 13 c).

Tabell 3. Närsaltsläckage till Orust och Tjörn fjordsystem. Redovisat som kg/ha och år till havet (inkl. retention).

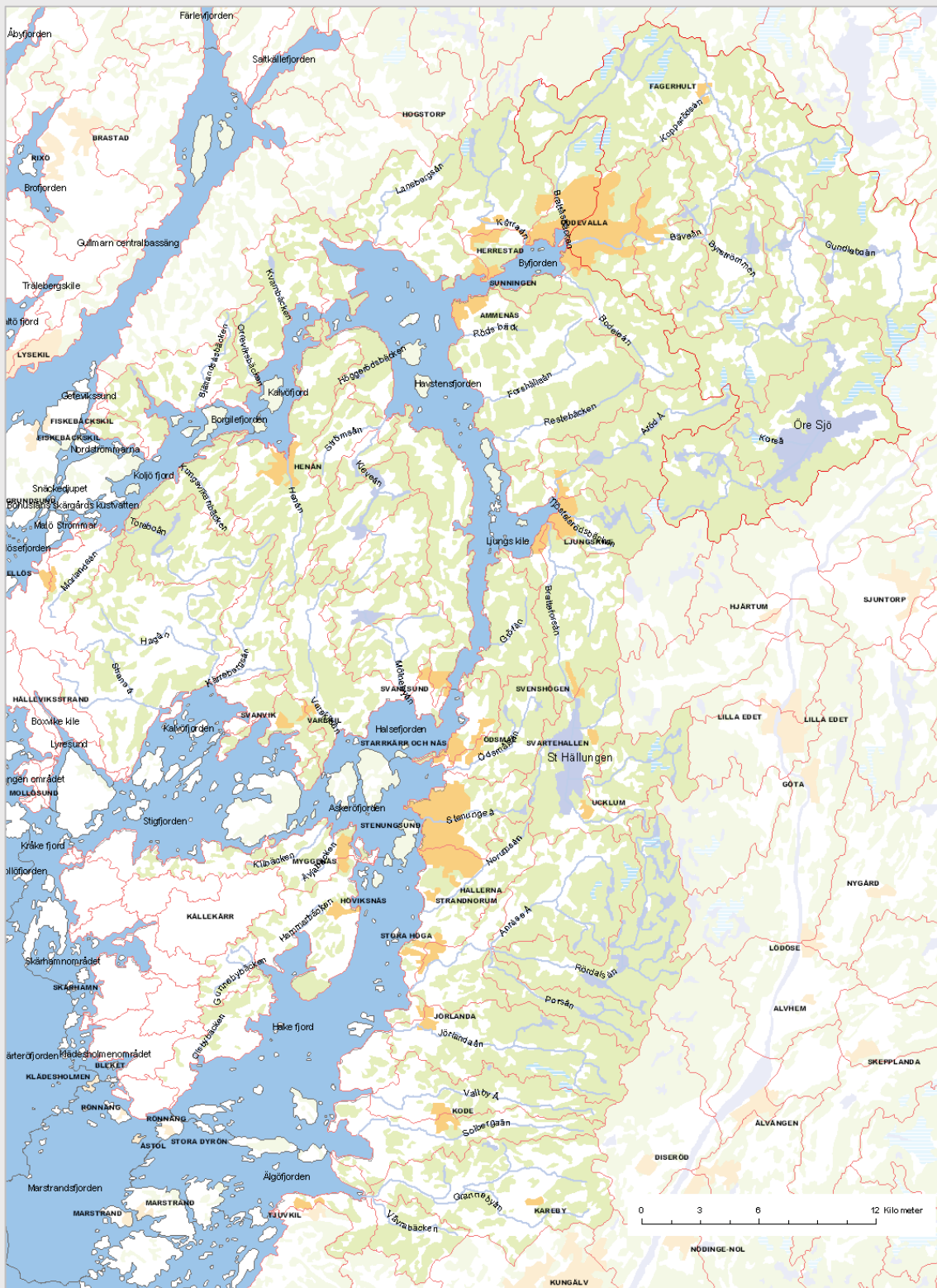
	från hela avrinningsområdet	från åkermarken	från åkermarken (antropogen del)
Kväve	medel ca 7	13-19	5-10
Fosfor	medel ca 0.6	1.0-1.7	0.6-0.9



Figur 13. a) Avrinningen i Västsverige (l/s km²) baserat på åren 1995-2004 kväveläckaget, b) kväveläckaget och, c) fosforläckaget från jordbruksmark (kg/km²), där jordbruksmark=åkermark Källa: SMED.

3.2. Bidraget från vattendrag

Inom Länsstyrelsens regionala miljöövervakningsprogram Bohusbäckar som följer upp transporten av kväve och fosfor till Skagerrak i 35 vattendrag i Bohuslän (figur 14) har vattenkvalitetsdata sammanställts och redovisas i figur 16 och 17 som ett medelvärde för treårsperioden 2005-2007 i form av näringshalt, ämnestransport och arealspecifik förlust. Gemensamt för vattenkvaliteten i dessa vattendrag är liksom i övriga Bohuslän att fosforhalter är mycket höga, inte sällan över 0,1 mg/l, och över hälften av vattendragen har sämre än god status enligt Naturvårdsverkets bedömningsgrunder (2007) för fosfor.



Figur 14. Vattendragen som mynnar i Tjörn-Orustområdet.

Kalvöfjord, Koljö fjord, Borgilefjorden och Malö Strömmar

Ett antal mindre bäckar mynnar i Kalvöfjord; Kvarnbäcken från Bergs Vatten och Orreviksbacken på Bokenäset samt Henån på Orust i söder varav endast den sistnämnda ingår i miljöövervakningsprogrammet.

Borgilefjordens och Malöströmmars avrinningsområden är mycket små, med stor andel kalt berg. Till Koljö fjord avvattnas områden på norra Orust och på södra Bokenäset och ett flertal vattendrag mynnar i kustvattenförekomsten. På nordvästra Orust mynnar Morlandaån i jordbruksområdet Morlanda, Toreboån som avvattnar skogsjöarna Rödsvatten och Torebosjön, som ligger i skogsreservatet Morlanda, Kungsvikenbäcken samt Bjällandsåsbäcken på Bokenäset.

Byfjorden

Avrinningsområdet till Byfjorden (369 km²) avvattnas av tre vattendrag varav Bäveån är det största och avvattnar ca 80 % av avrinningsområdet. Bäveåns avrinningsområde (294 km²) sträcker sig över Uddevallas, Vänersborgs, Trollhättans och Lilla Edets kommuner. Den största källsjön är Öresjö, en näringsfattig skogssjö med höga naturvärden. De arealspecifika förlusterna av näringsämnen är därför små, men den stora vattenföringen ger en stor transport av både kväve och fosfor relativt övriga vattendrag i Orust-Tjörn området (figur 15 och 16). Halterna av fosfor och kväve i Bäveån har legat på ungefär samma nivåer sedan början av 1970-talet, dock kan en viss trend till minskande halter av oorganiskt kväve skönjas och under de senare åren har totalfosforhalterna minskat medan oorganiskt löst fosfor har ökat något.

Förutom Bäveån mynnar de mindre vattendragen Kärraån och Bodeleån i Byfjorden. Kärraåns avrinningsområde (26 km²), avvattnar området norr om Byfjorden. De övre delarna av vattensystemet, med ett flertal näringsfattiga sjöar, ingår i Herrestadsfjällets barrskogsområde. Längre nedströms rinner vattendraget genom odlingsbygd och vidare genom Uddevallas bostadsområden innan ån mynnar i Byfjorden strax väster om varvsområdet. Vid mynningen är ån relativt näringsrik och halterna ligger på ca 50 µg P/l och ca 0,8 mg N/l, se figur 15, här finns trend med minskande halter av framförallt fosfor men även en tendens till minskande kvävehalter.

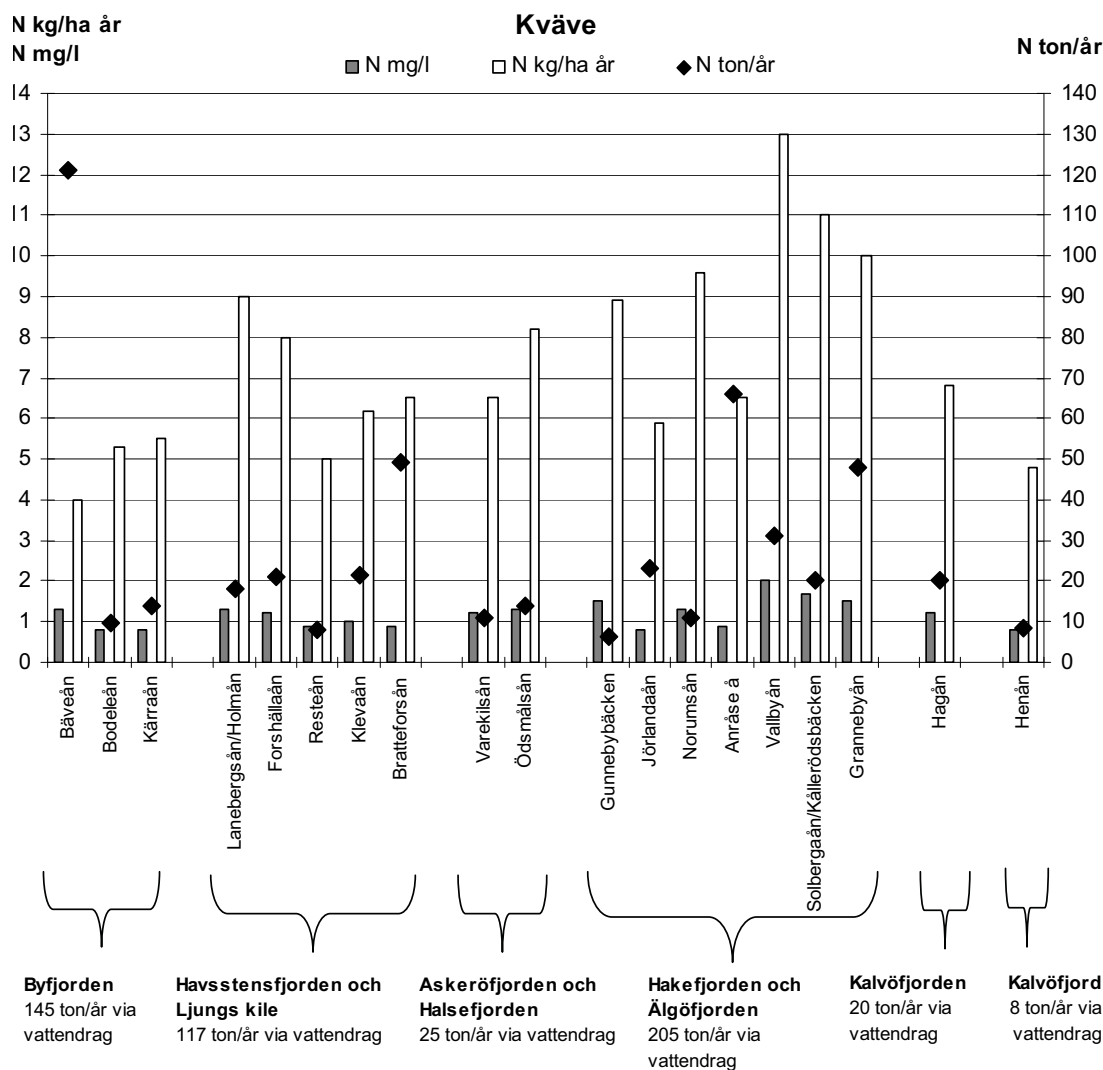
Bodeleån avvattnar ett ca 19 km² stort område söder om Byfjorden. Ån mynnar i Byfjorden vid Gustavsberg. Samtliga tre vattendrag hyser bestånd av havsöring.

Havstensfjorden och Ljungs kile

Avrinningsområdet till Havstensfjorden och Ljungs kile är 325 km² stort och avvattnar östra delen av Orust och en stor del av Uddevallas kommun. Området på Orust avvattnas av vattendragen Höggerödsbäcken i norr och längre söderut Kleveån, som avvattnar Grindsbyvattnet, som tillsammans med Strömsån mynnar i våtmarken Runnsvatten strax innan mynningen i Slussekilen. I Uddevallas kommun mynnar Lanebergsån/Holma å i norra delen av Havstensfjorden och i öster Röds bäck, Forshällaån, Resteån och Grötån. I Ljungs kile (Uddevalla kommun) mynnar vattendragen Aröd å, Tjöstelsrödsbäcken och det större vattendraget Bratteforsån som avvattnar Stora Hällungen, Stenungsunds dricksvattentäckt.

Av de vattendrag som ingår i miljöövervakningsprogrammet (se figur 15 och 16) har Holmaån och Forshällaån höga arealspecifika förluster av fosfor och kväve och

båda vattendragen har en minskande trend för fosforhalten och en tendens till ökande kvävehalter. Kleveån på norra Orust har en trend med ökande kvävehalter samt en tendens till minskande fosforhalter. Den största belastningen av kväve kommer från Bratteforsån som har ett långt mycket större avrinningsområde än övriga vattendrag på 76 km².



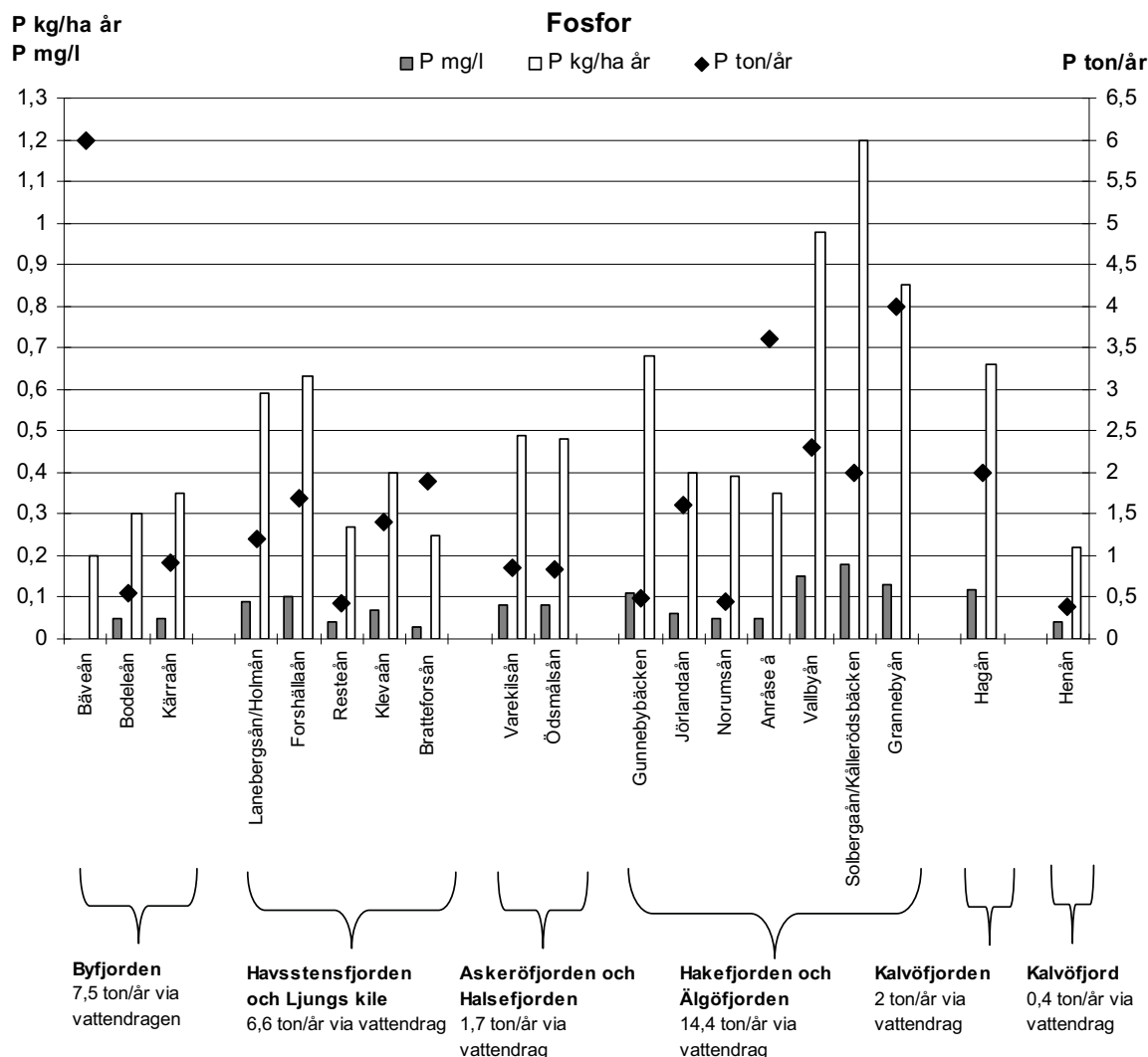
Figur 15. Figuren visar koncentrationen (mg/l), avrinningsområdets arealspecifika förlust (kg/ha-år) samt transporten (ton/år) av kväve i vattendragen som mynnar i Orust-Tjörns fjordssystem. Värdena bygger på medelvärden över åren 2005-2007.

Halsefjorden och Askeröfjorden

I Askeröfjorden mynnar ett antal vattendrag, Ävjabäcken och Kilbäcken på nordöstra Tjörn, Stenunge å som rinner genom Stenungsund och mynnar i industrihamnen, samt Ödsmålsån som mynnar i Jordhammarsviken norr om Stenungsund. Sydöstra Orust avvattnas av Varekilsån och Mölnebyån till Halsefjorden.

Varekilsån och Ödsmålsån är de enda som ingår i miljöövervakningsprogrammet, de har lika stora avrinningsområden och har ungefär samma förluster av

näringsämnen men kväveförlusterna är något högre i Ödsmålsåns avrinningsområde (figur 15 och 16). I Ödsmålsån finns en trend till minskande trend för fosforbelastningen medan kvävebelastningen tenderar öka.



Figur 16. Figuren visar koncentrationen (mg/l), avrinningsområdets arealspecifika förlust (kg/ha-år) samt transporten (ton/år) av fosfor i vattendragen som mynnar i Orust-Tjörns fjordsystem. Värdena bygger på medelvärden för åren 2005-2007.

Fjordarna mellan Orust och Tjörn, Stigfjorden och Kalvöfjorden

Stigfjorden har ett mycket litet avrinningsområde omfattande den nordligaste delen av Tjörn samt en mindre del runt Svanvik på Orust medan Kalvöfjordens avrinningsområde är stort och omfattar en stor del av södra Orust där andelen jordbruksmark är stor. Bäckarna Strane å, Hagaån och Kärrebergsån avvattnar avrinningsområdet.

Endast Hagaån ingår i miljöövervakningsprogrammet och fosforhalterna är mycket höga (figur 15 och 16), liksom i de andra jordbrukspräglade avrinningsområdena som mynnar i södra delen av Hakefjorden, halterna ligger på över 0,1 mg P/l. Förutom Svanvik på Orust finns inga större samhällen inom avrinningsområdet.

Fritidsbebyggelsen är däremot omfattande. Kalvöfjorden är även ett område där höga täckningsgrader av snabbväxande makroalger är dokumenterade.

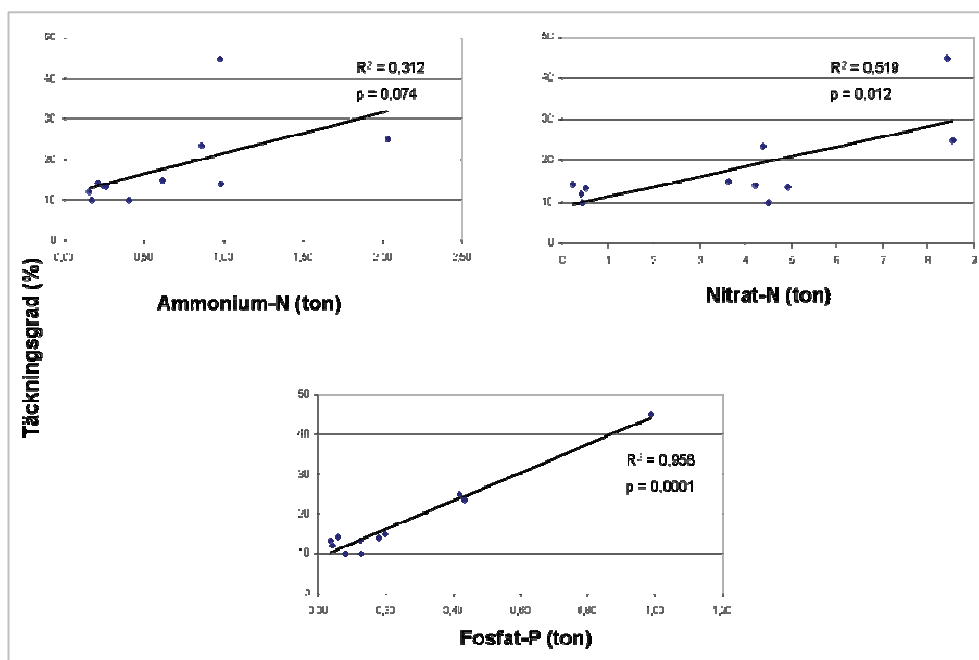
Hakefjorden och Älgöfjorden

I Stenungsunds kommun utgörs avrinningsområdet av ett tätbefolkat kustområde med en stor andel jordbruksmark, medan skog dominerar i de inre delarna av avrinningsområdet. Svartedalens sjörika skogslandskap är källområde till Anråse å och Jörlandaån som mynnar strax utanför samhällena Stora Höga respektive Jörlanda. Norr om dessa två mynnar Norumsån mellan Stora Höga och Stenungsund. Inom Kungälv kommun avvattnar bäckarna Vallbyån, Solbergaån/Källarödsbäcken till Hakefjorden och Grannebyån till Älgöfjorden. Till Hakefjorden avvattnas även Tjörns östra sida med Hammarbäcken och Gunnebybäcken som mynnar i Vallhamnsområdet samt Olsbybäcken längre söderut.

Avrinningsområdena i Kungälv kommun med vattendragen Grannebyån, Solbergaån/Kollerödsbäcken och Vallbyån har de allra högsta arealspecifika förlusten av kväve och fosfor och högsta halterna av näringsämnen av alla de undersökta vattendragen i Tjörn-Orust området (figur 15 och 16). Vattendragen har en mer eller mindre stark trend med minskande fosforhalter och ökande kvävehalter.

Koppling mellan vattendrag och snabbväxande makroalger

Analys av fraktionerad näringsämnesdata i vattendrag och täckningsgrad av snabbväxande makroalger (2004-2007) påvisar signifikanta positiva korrelationer (figur 17).

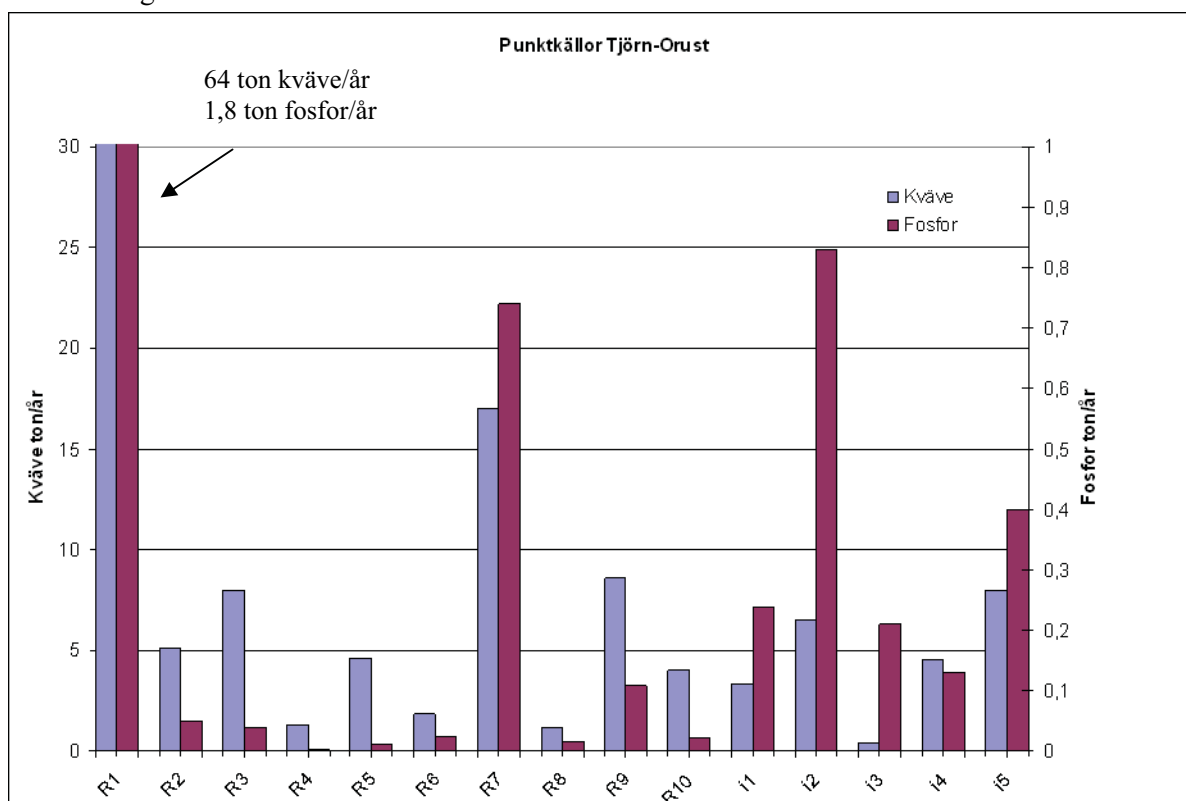


Figur 17. Belastning av fraktionerna Ammonium-N, Nitrat-N och Fosfat-P (ton) från vattendrag i relation till täckningsgrad (%) av snabbväxande makroalger i Orust-Tjörn området under perioden maj-september 2004-2007.

Det finns därför belägg för en tydlig koppling mellan tillförseln av näringsämnen till havet och utbredningen av snabbväxande makroalger i grunda havsvikar (Carlsson, 2009). Något som tidigare inte har varit möjligt att påvisa, då tillgången på högupplöst data varit begränsad.

3.3. Utsläpp från avloppsreningsverk och industri

Skansverket med utsläppspunkt i Byfjorden har bäst reningsgrad men är ändå den absolut största punktkällan i fjordsystemet (figur 18). Även Stenungsunds ARV ger ett stort bidrag jämfört med övriga avloppsreningsverk. I övrigt är industrierna i Stenungsundsområdet stora näringskällor, speciellt *Borealis Kracker* ger ett stort fosfortillskott (figur 18). Utsläppen i figur 18 avser utsläpp från reningsverk vilket innebär att de reningsverk med utsläppspunkt i vattendrag som avloppsreningsverken i Kode, Varekil, Ucklum, och Svenshögen ger ett något mindre bidrag till havet genom den retention av näringsämnen som sker på vattnets väg till havet.



Figur 18. Utsläpp från avloppsreningsverk(2006/2007) och industri (2005) i Orust-Tjörn fjordsystem. För geografisk placering se figur 9. *R1*-Uddevala ARV (Skansverken), *R2*-Henån ARV, *R3*-Ljungkile ARV, *R4*-Varekils ARV, *R5*-Svanesunds ARV, *R6*-Svenshögens ARV, *R7*-Stenungsunds ARV (Strävliden), *R8*-Ucklum ARV, *R9*-Höviks ARV, *R10*- Kode ARV. Grafen är begränsad till max 30 ton kväve/år och 1 ton fosfor/år, varför siffrorna för Skansverken som är större är angivna separat. I _{nx} utgörs av Stenungsunds-industrierna, se bilaga A.

4. Åtgärder

4.1. Vidtagna åtgärder

Från Skansverkets reningsverk i *Uddevalla kommun* släpptes 2007 ut 67 ton kväve och 1.2 ton fosfor till Båveåns mynningsområde. Förutom Uddevalla är Herrestad, Hogstorp, Gustavsberg och Sundsandvik anslutna till reningsverket, totalt 41 700 pe. Till Skansverket hör 72 st pumpstationer varifrån bräddning registreras med ett datoriserat övervakningssystem vilket inneburit att bräddningarna minskat. En rapport angående de enskilda avloppens miljöpåverkan i kustområdet mellan Ljungskile och Uddevalla har färdigställts (2008). 195 fastigheter med enskilda avlopp har t.o.m. den 5 augusti 2008 omkopplats till det kommunala ledningsnätet. I Uddevalla har inga våtmarker anlagts i kommunens regi.

I *Orust kommun* är reningsverken i Hälleviksstrand och Mollösund (utanför fjordssystemet) och Varekil ARV med utsläppspunkt i Hålfjorden omoderna. Vid Varekil ARV föreligger akuta risker vid översvämningar från den intilliggande Varekilsån. Kommunen planerar på sikt att bygga om reningsverket till en pumpstation med överföring till Svanesund. Under 2007 kopplades Henåns ARV med utsläpp i Borgilefjorden/Kalvöfjord om till Ellös ARV utanför vår definition av fjordssystemet. Fiskindustrin MP-Produkter i Mollösund har två direktutsläpp till havet i Mollösund. Utsläppen renas med s.k. Musslor före utsläpp. Industrin har liten produktion på grund av liten tillgång på fisk. 17 % av de enskilda avloppen (ca 1100 st. avlopp) har eller kommer att ha förbättrats genom åtgärdsföreläggande från 1991 till 2010. I *Orust kommun* har våtmarker eller dammar anlagts i anslutning till Rödsvattnet.

Tjörns kommun har haft ett ambitiöst program för att ersätta enskilda avlopp i tätbebyggelse med gemensamma avlopprensingsverk/-anläggningar med bl a 50 % kväverening. Fiskeindustrierna Klädesholmen Seafood AB (Arlax, Bråsö och Konservsönerna) med tre olika utsläpp, Astrid Fiskexport AB i Rönnäng och Skärhamns Frys. har i nuläget endast fettavskiljning, s.k. Musslor. Kommunen har tidigare ansökt om medel för att förbättra vattenomsättningen i sund genom att öppna vägbankar. Man har fått avslag för LONA-bidrag för att öppna två vägbankar mellan Mjörn och Tjörn samt mellan Stora och Lilla Askerön (gräns mellan de två kommunerna).

Reningsverket i *Stenungsund*, Strävlidens AVR, samlar upp avlopp från tätortsbebyggelsen längs hela kommunens kuststräcka.

I *Kungälv kommun* har Kode ARV utsläpp i Vallbyån. Tjuvkil, Kovikshamn, Ödsmåls mosse samt Aröd har för närvarande reningsverk av dålig standard. För närvarande finns ca 12 000 permanent boende utan kommunalt avlopp, varav ca 2000 hushåll med enbart slamavskiljare. Kommunen har 90 st. C-avloppsanläggningar av skiftande kvalitet. Kommunen har inom ramen för ett LIP-projekt 2002-2006 anlagt våtmarker på sju platser med en total yta av 5,9 ha. Dessutom har EU-stöd för ytterligare två stora våtmarker (Tjurholmen och Tofta) beviljats. I en miljöutredning om Kollerödsbäcken (1999) finns en beskrivning av

lämpliga lägen av våtmarker. Kommunen driver i samarbete ett par försöksanläggningar med vattenreningskärr.

Kommunerna i Tjörn-Orust-området har beslutat om en fortsättning på 8-fjordar projektet. En projektledare har anställts gemensamt för Uddevalla, Orust, Tjörn Stenungsunds och Kungälv kommuner med placering i Stenungsund. Projektet avses bli åtgärdsinriktat med utgångspunkt från den inventeringsdel som redan rapporterats från 8-fjordarprojektet.

4.2. Planerade åtgärder

I *Uddevalla kommun* görs inventeringar av enskilda avlopp i anslutning till färdigställandet av överföringsledningen från Ljungskile till Uddevalla ARV. Överföringsledningen planeras vara i drift hösten 2010. Dessutom kommer i snitt ca 130 st enskilda avlopp per år med dålig rening att anslutas till Uddevalla ARV, totalt ca 1300 under en tioårsperiod, vilket innebär att ekologiskt känsliga grundområden mellan Ljungskile och Uddevalla kommer att avlastas. Dessutom prioriteras en överföringsledning från området vid Havstensfjorden. Lagstiftning mm för utsläpp från avloppsreningsverk och industri ges i avsnitt (I) 4.5.

I *Orust kommun* är Miljö- och byggnadsenhetens första prioritering att förbättra den kommunala reningen i anslutning till Stigfjorden. Svanviks avloppsreningsverk har 2007 ombyggt och uppgraderats med ett helt nytt koncept. Kommunen hade gärna sett att Svanviks samhälle anslutits till Varekils reningsverk. Varekils avloppsreningsverk har i nuläget inte denna kapacitet, varför investeringen istället valdes att genom uppgradering/nyanläggning av det privata reningsverket i Svanvik. I nuläget saknas därför incitament för att ansluta Svanvik och då särskilt som avloppsreningen förbättrats högst väsentligt. Orust kommun har lagt in i investeringsbudget för 2011 att dra en vattenledning från Uddevalla kommun (Å Stiftsgård) till Slussens samhälle. Åtgärden är en del av kommunernas säkerhets-/sårbarhetsanalyser att förbinda vattensystemen. Om denna åtgärd utförs som planerat kommer kommunen att dra fram vattenledningen till Henåns samhälle. Samtidigt med nedläggning av vattenledningen läggs en kommunal avloppsledning mellan Henån och Slussen, vilket innebär att kommunen kommer att lösa ett mångårigt VA-problem. En VA-anslutning mellan Henån-Slussen skulle sannolikt i ett första skede minst kunna avlasta 200 pe. Eftersom anslutningen av privata fastigheter kommer att vara frivillig så beror sannolikt intresset på kommunens ambitioner/tillsynsresurser mm. Viktigast är ändå att det för många fastigheter inom Slussen saknas godtagbar vattentillgång och kvalitet. Kommunens anslutningstaxa gynnar påkoppling av både vatten och avlopp då 75 % av anslutningstaxan gäller endast vatten. Detta kommer sannolikt att gynna anslutningen av privata fastigheter till en kommunal VA-anläggning.

Miljö- och Byggnadsenheten anser att det finns potentiella lägen för att anlägga våtmarker runt Grindsbyvattnet och längs Klevaån. Troligen finns också lämpliga lägen längs de nedre delarna av de vattendrag (bl.a Hagån) som mynnar i den inre delen av Kalvöfjorden. Vägbankar som förhindrar vattenomsättningen finns i Lavö sund samt i Boxviks kile.

På *Tjörn* skall ett nytt reningsverk byggas på Ängholmen (Klädesholmen och Rönnäng). Planer finns att också ansluta Skärhamn till detta. Miljöavdelningen på Tjörn anser att fiskindustrierna i Klädesholmen, Rönnäng och Skärhamn och som

har direktutsläpp till havet bör anslutas till det utbyggda verket. Industrierna är Klädesholmen Seafood AB (Arlax, Bråsö och Konservsönerna) med tre olika utsläpp, Astrid Fiskexport AB i Rönnäng och Skärhamns Frys. Miljökontoret har observerat "vita bottnar" av svavelbakterier utanför fiskindustrins utsläpp i Rönnäng. Miljökontoret anser att en av de mest angelägna åtgärderna för att minska övergödningen utanför Tjörn är att åtgärda fiskindustrins utsläpp. Industrierna har i nuläget endast fettavskiljning, s.k. Musslor. De angivna avloppsreningsverken och industrierna på Tjörn ligger utsidan fjordsystemet och ingår inte i vår analys. Kommunen har haft ett ambitiöst program för att ersätta enskilda avlopp i tätbebyggelse med gemensamma avloppsreningsanläggningar med 50 % kväverening.

I *Stenungsunds kommun* har flera petrokemiska industrier ansökningar inne för utbyggnad. IVL Svenska Miljöinstitutet AB, har för Perstorp gjort en beräkning av effekter av ett utsläpp på 4 ton kväve. Kommunen anser att man endast tar hänsyn till effekter i Natura 2000- områden och ej tar hänsyn till den allmänna eutrofieringseffekten. Kommunen har en långsiktig plan att stegvis ersätta enskilda avlopp med anslutningar till den långa överföringsledningen till Strävlidens avloppsreningsvekr.

*Kungälv*s kommun har en långsiktig plan, VA i kustzon, för att ansluta flera tätorter med dålig avloppsstandard till kommunalt avlopp, Ryaverket i Göteborg. Från Ytterby planeras en tryckavloppsledning till Kungälv och Ryaverket. Tätorterna Tjuvkil, Kovikshamn, Lycke, Kärna samt Instön är planerade att anslutas till Ytterby och vidare till Kungälv. Ödsmåls mosse samt Aröd är planerade att anslutas till Kode reningsverk som kommer att byggas ut från 1600 pe till 6000 pe. Kode ARV har utsläpp i Vallbyån. (Tjuvkil, Kovikshamn, Ödsmåls mosse samt Aröd har för närvarande reningsverk av dålig standard). Ett genomförande av planen innebär att avloppsstandarden i flera tätorter längs kusten kommer att förbättras avsevärt samtidigt som kommunen möter intresset för ökad bosättning i kustområdet. En långsiktig plan är att också ansluta enskilda avlopp längs de planerade långa överföringsledningarna. Planen är beräknad att genomföras till 2020 till en kostnad av 440 miljoner. Planens genomförande innebär dock att det kommer att återstå flera tätorter och ett stort antal enskilda avlopp i glesbygd med dålig rening

5. Ytterligare närsaltsreducerande åtgärder

5.1. Åtgärder inom jordbruket

Även om åkerbruket inom området inte är koncentrerat på intensiv spannmålsodling så bidrar det väsentligt till fosfor och kvävetransporten till havet. Med hänsyn till havsmiljön bedöms det som angeläget att minska transporten av såväl fosfor som kväve från åkermarken. Även om spannmålsarealen i området inte är stor så finns möjligheter att öka inslaget av fånggröda och vårplöjning i flera kommuner vilket nedanstående tabell visar.

Tabell 4. Ansökta arealer (ha) för fånggröda+ vårplöjning för år 2006.

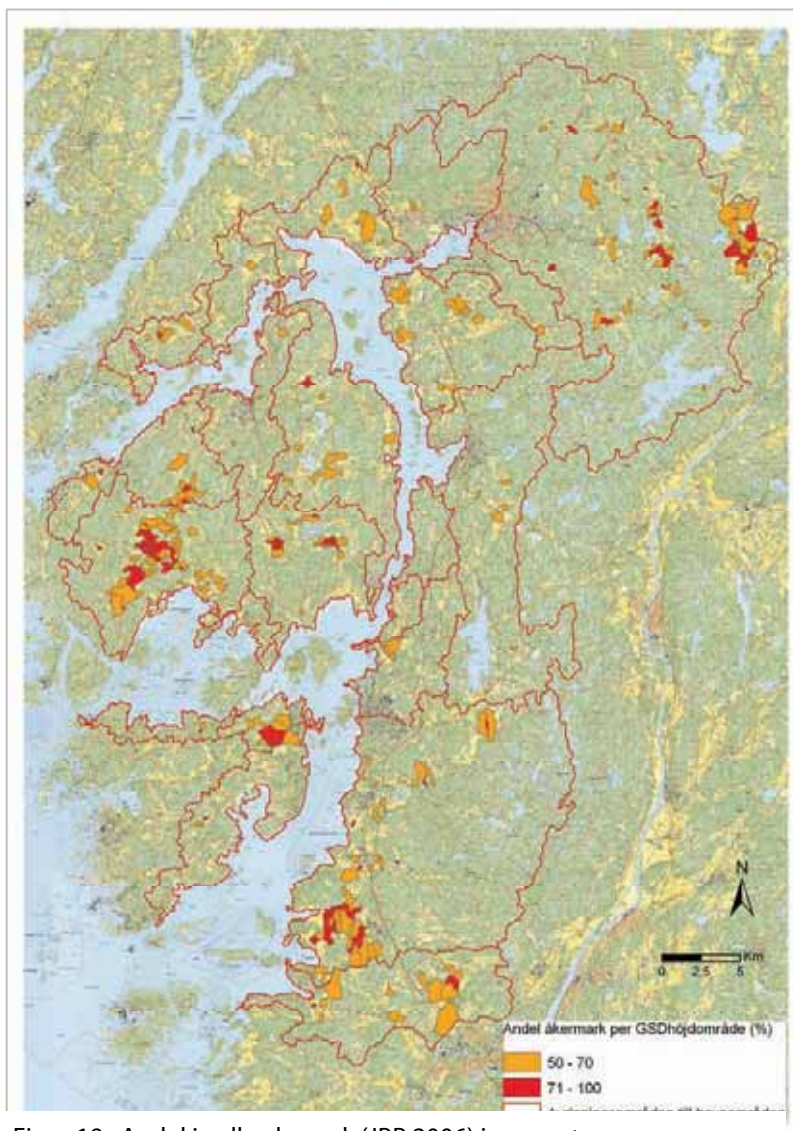
Kommun	Ansökta arealer (ha)	% av spannmålsarealen
Uddevalla	1456	73 %
Kungälv	500	41 %
Orust	284	37 %
Tjörn	45	20 %
Stenungsund	263	49 %

Som jämförelse kan nämnas att i Tanums kommun utnyttjades motsvarande ersättning på 65 % av spannmålsarealen.

Andra åtgärder inom jordbruket som vi bedömer som viktiga för att kunna reducera kväve och fosforbelastningen på skärgårdsområdet är att återskapa eller anlägga våtmarker och dammar samt att anlägga ytterligare skyddszoner längs vattendrag och diken med angränsande brukad åkermark. Enligt Jordbruksverket (2008) pågår en översyn av regelverket för spridning av stallgödsel med anledning av Nitratdirektivet. Utfallet av denna genomgång förväntas bli att spridningsförbudet under vintern kommer att förlängas samt att spridningsförbudet för flytgödsel under hösten före sådd av vårsådda grödor kommer att utvidgas till de känsliga områdena i norra Götaland. Dessutom kan andra gårdsanpassade åtgärder utvecklas som begränsar växtnärläckaget och som samtidigt passar in gårdarnas växtföljder. Sådana åtgärder har beskrivits i ovan nämnda rapport från Jordbruksverket. De klimatförändringar som förväntas i Västsverige i form av större nederbörds mängder under höst och vinter gör det mycket angeläget att stallgödselspridningen görs på ett sätt och vid den tidpunkt på året så att minsta möjliga näringsläckage sker till diken och vattendrag.

Våtmarker och dammar

För att våtmarker och dammar skall ha en betydande närsaltsreducerande effekt bör de anläggas i vattendrag med höga närsalthalter. Även om inte mycket höga halter har uppmätts i de stora bäckarnas huvudfåror så är halterna högre i bäckar med biflöden eller diken som har en stor andel jordbruksmark. Sådana områden finns i samtliga ovan nämnda bäckars avrinningsområden (se avsnitt 3.2), men det krävs detaljstudier av bl.a. topografi och jordbruksmarkens areella omfattning uppströms en möjlig placering innan lämpliga lägen för våtmarker eller dammar kan föreslås. För en mer detaljerad beskrivning av våtmarker se avsnitt (I) 4.2. Med hjälp av höjddata GIS-information har man inom regeringsuppdrag 22 (våtmarker) tagit fram ett verktyg för att kunna peka ut de mest lämpliga områdena för effektiva våtmarker dvs de mest jordbruksintensiva (>50-70%). I figur 19 visas områden där jordbruksmark dominerar (>50%) och som därigenom skulle vara lämpliga att anlägga våtmark på. Med hjälp av ovan nämnda verktyg har vi antagit att vi kan beräkna att den potentiella ytan för anläggande av våtmark i avrinningsområdet till ca 1 % av markarealen där 50-100% utgörs av jordbruksmark. I anslutning till havet ligger flera områden med hög koncentration av jordbruksmark (figur 19). På Orust i tillrinningsområdet till den grunda känsliga Kalvöfjorden finns stora sammanhängande åkerarealer. Åtgärder i dessa områden i form av våtmarker och skyddszoner är viktiga för en reduktion av närsalter till havet.



Figur 19. Andel jordbruksmark (JBB 2006) i procent per avrinningsområde som är baserat på GSD-höjddata. Gult och rött markerar områden där jordbruksmarken utgörs av 50-70 resp. 71-100 procent av områdets yta

Tabell 5. Hektar jordbruksmark (JBB 2006) per avrinningsområde som är baserat på GSD-höjddata. Kolumnerna motsvarar arealen av de gul och röd markerade områden i figur 19 där jordbruksmarken utgörs av 50-70 resp. 71-100 procent av områdets yta

Havsområde	Areal åkermark per GSDhöjdområde (ha)		
	50-70% (ha)	71-100% (ha)	Summa (ha)
Byfjorden	670	356	1026
Havstensfjorden	564	39	603
Ljungs kile	54	0	54
Halsefjorden	161	76	237
Askeröfjorden	173	113	286
Hake fjorden	717	307	1025
Älgöfjorden	435	45	480
Stigfjorden	11	3	14
Kalvöfjorden	564	366	929
Kalvöfjord	43	1	43
Borgilefjorden	0	0	0
Koljö fjord	256	51	307
Totalt	3647	1357	5004

Skydds zoner

Skydds zoner i form av obrukad åkermark skall för att vara berättigade till EU-stöd ha en bredd av minst 6 m. Se avsnitt 4.3 för en mer detaljerad beskrivning

Tabell 6. Längd av vattendrag som gränsar till åkermark i tillrinningsområdena till de olika havsbassängerna.

Havsområde	Vattendrag vid åkermark (m)
Byfjorden	81753
Havstensfjorden	87858
Ljungs kile	23482
Halsefjorden	29386
Askeröfjorden	18021
Hake fjorden	78090
Älgöfjorden	36479
Stigfjorden	3077
Kalvöfjorden	49634
Kalvöfjord	24387
Borgilefjorden	180
Koljö fjord	35977
Totalt	468325

Inom avrinningsområdena till Orust-Tjörn fjordsystem har bidragsformen generellt liten omfattning. Anläggandet av skydds zoner längs bäckar och diken motverkar fosfortransport till vattendragen. Skydds zoner på åkermark bestående av lerjordar

med stort lerinslag som i Orust-Tjörn fjordsystem är särskilt viktiga för att minska fosfortransporten ut till havet. Skyddszoner gör särskilt stor nytta där marken lutar mot vattendraget. Med hjälp av ett verktyg som tagits fram inom vattendirektivsarbetet har längden på vattendrag i anslutning till åker beräknats, och därigenom den potentiella längden skyddszon i avrinningsområdet som avvattnas till de olika havsområdena i fjordsystemet. Längden vattendrag uppskattas till ca 470 km. Åkermarken ansluter på båda sidor om vattendragen. En 10 m bred skyddszon innebär 470 ha potentiell skyddszon på varje sida vattendragen.

5.2. Erosionsbegränsande åtgärd

Höga flödestoppar i de åar och bäckar som korsar kommunens dalgångar med lerjordar förorsakar erosion med följd att partikelbunden fosfor uttransporteras till de grunda havsvikarna. Sedimentet kan förorsaka sedimentpålagring och uppgrundning i det grunda havsområdet samtidigt som fosfor är en eutrofieringsfaktor. Se avsnitt (I) 4 för en genomgång av erosionsbegränsande åtgärder. Kommunekologen i Tanums kommun anser att man bör kunna kapa de höga flödestopparna genom att öka uppehållstiden för vattnet i kommunens skogsområden, detta gäller troligen även i vissa av kommunerna kring Orust-Tjörn fjordsystem. Åtgärden skulle bestå i att lägga igen vissa identifierade skogsdiken som inte längre är till stor nytta för skogsbruket. Andra åtgärder som anläggning av meanderslingor och avfasning av diken är andra möjliga åtgärder. Längden av dessa diken och effekten av åtgärden har inte uppskattats.

5.3. Enskilda avlopp

I avsnitt 4.5.3 ges en kort genomgång av arbetet med enskilda avlopp. Kommunerna bör göra en långsiktig plan för att samtliga enskilda avlopp skall ha minst 90 % fosforrening och 50 % kväverening, vilket motsvarar s.k. hög skyddsnivå. På uppdrag av flera kommuner har avloppsinventeringar av kustområdets stugbyar genomförts med syfte att ge kommunen underlag för en kommande avloppsstrategi, såsom anslutningsmöjligheter för stugbyar och enskilda avlopp till överföringsledningar och anläggandet av mindre ARV.

5.4. Mottagningsanläggningar för toa-avlopp från fritidsbåtar

Mottagningsanläggningar för toa-avlopp från fritidsbåtar finns endast i Stenungsund. Under sommarhalvåret då antalet fritidsbåtar är stort skulle utbyggnad av avloppsanläggningar höja vattenkvaliteten lokalt. Ingen uppskattning av effekterna har gjorts. En beskrivning av arbetet med mottagningsanläggningar ges i avsnitt (I) 6.7. I havspropositionen våren 2009 föreslås förbud för utsläpp av toalettavfall från fritidsbåtar.

5.5. Musselodlingar

I Tjörn-Orust fjordsystem finns ett antal musselodlingar som fungerar närsaltsreducerande i samband med skörd (figur 20). Eftersom musslorna filtrera

bort plankton och andra små partiklar renar de vattnet och förbättrar siktdjupet, vilket möjliggör ökad lokal djuputbredning av makroalger. 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. Odling kan även vara en möjlig insats vid områden som är intressanta för rekreation. En diskussion om musselodlingar ges i avsnitt (I) 6.3. Ingen uppskattning av effekten av åtgärden har gjorts. I havspropositionen våren 2009 presenteras förslag på en ökad satsning på musselodling.



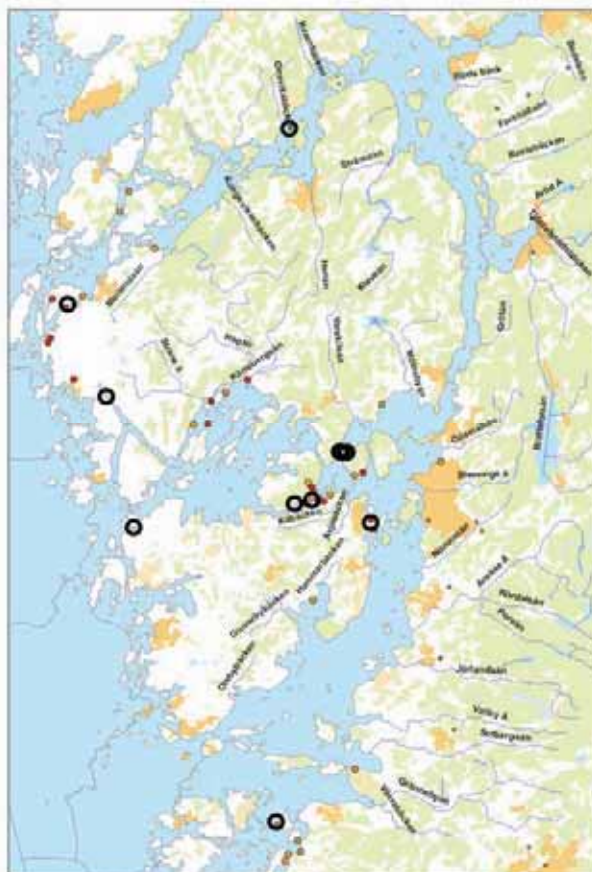
Figur 20. Musselodlingars (ansökta) placering i Orust-Tjörn området (ljusgrön fyrkant). Samtidigt anges täckningsgrad av snabbväxande makroalger ifrån Bohuskustens Vattenvårdsförbunds kontrollprogram 1998-2007. röd (75-100%) respektive orange (50-74%) täckningsgrad vid ett eller flera tillfällen under aktuell period.

5.6. Öppnande av vägbankar för ökad vattengenomströmning

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 vattencirkulationsstörningar. En restaureringsinsats i dessa områden är att återskapa områdets naturliga förutsättningar, exempelvis genom att återställa vattengenomströmningen genom att ta bort gamla broar eller öppna upp vägbankar med underdimensionerade öppningar.

Med stöd från framtaget underlag på förekomst och utbredning av snabbväxande makroalger har området studerats för att identifiera objekt där det finns ett behov

av ökad vattengenomströmning för en förväntad positiv effekt i form av minskad utbredning av snabbväxande makroalger. Totalt identifieras 10 st antal objekt vilka bedöms att ha goda förutsättningen för genomförbarhet (figur 21). Ingen uppskattning av effekten av åtgärden har gjorts. Fördjupad beskrivning av objekten återfinns i huvudrapporten för regeringsuppdrag 51 b ”Övergödda havsvikar”.



Figur 21. Analysen av snabbväxande makroalger har använts för identifikation av områden där behov för åtgärdsinsatser i form av ökad vattengenomströmning objekt påvisats. Endast de objekt där förutsättningen för genomförbarhet bedömts som goda är medtagna.

6. Modellsimulering

6.1. Åtgärdspaket

Baserat på underlaget i kapitel 5 gör vi här en bedömning av potentialen för reduktion av näringsämnen i avrinningsområdet som avvattnas till havsbassängerna innanför Orust och Tjörn.

Vi använder SMHI:s kustzonmodellsystem för att beräkna vad en förändring av näringsbelastningen till de olika havsbassängerna ger för effekt i fjordsystemet på kustvattenförekomstskala.

Reningsverk

Vi simulerar två olika lösningar för avloppsreningsverken i fjordsystemet.

1) En överkoppling av Varekil ARV och Svanvik ARV till Svanesund ARV simuleras tillsammans med en överkoppling av Ljungkile ARV till Skansverken i Uddevalla, och en förbättrad rening i Kode ARV, enligt kommunernas planer. Henåns ARV är flyttad till Ellös ARV, vilket genomfördes under 2007/2008.

2) En sammanlänkning av reningsverken från Uddevalla och till Stenungsund (de kommunala reningsverken i Uddevalla, Ljungskile och Stenungsund) med utsläpp i Marstrandsfjorden utanför systemet. På ledningen kopplar vi även Svanesund (inklusive Varekil och Svanvik), och Höviksnäs ARV. Dessutom är Henåns ARV flyttat till Ellös ARV. Det innebär att vi i det närmaste helt avlastar fjordsystemet från utsläpp från kommunala avloppsreningsverk. Vi reducerar då tillförseln till fjordsystemet med 125 ton kväve/år och 2.7 ton fosfor/år från ARV.

Enskilda avlopp

Vi uppgraderar samtliga enskilda avlopp till hög skyddsnivå dvs 50 % och 90 % rening för kväve respektive fosfor. Exempelvis har avlopp med endast slamavskiljare endast en reningsgrad på 10 % och 13 % för kväve respektive fosfor (Liss 2003). Beräkningarna görs för varje kustvattenförekomst och har utförts av IVL. Beräkningsunderlaget utgörs av fastighetstaxerings-, fastighets-, och befolkningsregister, samt nyttjandegrad enl. SCB, typ av reningsanläggning enl. kommunenkät, utsläppsschabloner baserad på reningsteknik (SMED 2007). Läckage per hushåll beräknas enligt tabell 7.

Tabell 7. Underlag för beräkning av och den totala belastningen per hushåll, och den totala belastning per hushåll (NV 1995)

Näringsämne	Personläckage (g/år)	Ant. pers/fam.	Ant. bruksdagar	Totalt (kg/år)
kväve	13.5	2.3	180	5.6
fosfor	2.1	2.3	180	0.87

Med ett beräknat totalt läckage per enskilt avlopp på 5.6 kg N/år och 0.87 kg P/år (se tabell 7) fås en reduktion för varje avlopp efter uppgraderingen på 2.7 kg N/år, och 0.8 kg P/år.

Kommunernas planer för enskilda avlopp som är tänkta att genomföras inom en relativt snar framtid är också medtagna i modellsimuleringarna.

Skyddszon på åkermark

Enligt våra uppskattningar finns 468 km vattendrag i anslutning till åkermark i hela fjordsystemet. Om vi anlägger en 10 m skyddszon längs denna sträcka får vi totalt ca 500 ha skyddszon på varje sida (tabell 8). I tabell 9 anges även antal hektar skyddszon som kan kopplas till varje bassäng och markläckaget av kväve (X_N) och fosfor (X_P) per ha jordbruksmark i tillrinningsområdena till bassängerna. Vi antar en 30 % och 50 % reduktion av kväve respektive fosfor (Syversen 2005). Till varje meter skyddszon kopplar vi 100 meter åker dvs vi antar att vi får en 30 % resp 50 % reduktion av näringsämnen som läcker från åkern. Varje hektar skyddszon reducerar alltså läckaget från ett 10 ggr så stort område. Vi antar också att ytavrinningen utgör 80 % av läckaget när det gäller fosfor. För kväve är den siffran mycket mindre (antar 10 %). Antal kilo kväve (Y_N) och fosfor (Y_P) som reduceras per ha skyddszon anges i tabell 8 och beräknas enligt:

$$X_N \cdot 10 \cdot 0.1 \cdot 0.3 = Y_N \text{ (kg N /ha skyddszon)}$$

$$X_P \cdot 10 \cdot 0.8 \cdot 0.5 = Y_P \text{ (kg P /ha skyddszon)}$$

Tabell 8. Längden på vatten drag till de olika bassängerna, med tillhörande hektar potentiell skyddszon. Det beräknade medelläckaget per ha åkermark till bassängerna, och medelreduktionen av näringsämnen per ha skyddszon (kg/ha).

Havsområde	Vattendrag vid åkermark (m)	Potentiell Skyddszon å 10m bredd (ha)	Läckage N per ha jordbruk (X_N)	Läckage P per ha jordbruk (X_P)	Reduktion N per ha Skyddszon (Y_N)	Reduktion P per ha Skyddszon (Y_P)
Byfjorden	81753	2*82	15,8	0,93	4,7	3,7
Havstensfjorden	87858	2*88	15,5	1,09	4,6	4,4
Ljungs kile	23482	2*23	14,5	1,14	4,3	4,6
Halsefjorden	29386	2*29	11,7	1,24	3,5	5,0
Askeröfjorden	18021	2*18	12,3	1,06	3,7	4,2
Hake fjorden	78090	2*78	11,5	1,23	3,4	4,9
Älgöfjorden	36479	2*36	9,1	1,39	2,7	5,6
Stigfjorden	3077	2*3	----	----	----	---
Kalvöfjorden	49634	2*50	14,0	1,14	4,1	4,6
Kalvöfjord	24387	2*24	18,8	1,22	5,6	4,9
Borgilefjorden	180	2*0	18,8	1,22	5,6	4,9
Koljö fjord	35977	2*36	16,3	1,18	4,9	4,7
Totalt	468325	2*500				

I medeltal utgörs 70 % av åkermarken i Orust-Tjörn avrinningsområdena av slätter och betesvall. Endast 20 % av åkermarken utgörs av spannmål och oljeväxter. Vi antar därför att man kan anlägga skyddszon längs 20 % av vattendragssträckorna. Redan anlagda skydds-zoner borträknas från detta (se tabell 9). Åkermarken ansluter på båda sidor om vattendragen vilket ger en dubbelt så lång skydds-zonssträcka än vattendragslängd. De totala reduktionerna av kväve och fosfor till bassängerna visas i tabell 9. Total reduktion av näringsämnen till hela Orust-Tjörn fjordsystem efter anlagda skydds-zoner är 570 kg kväve och 650 kg fosfor (tabell 9).

$Y_N \cdot \text{”potentiell skyddszon”} \cdot (0.20 - \text{”redan anlagda skydds zoner”}) = \text{”Total reduktion (N)”}$

$Y_P \cdot \text{”potentiell skyddszon”} \cdot (0.20 - \text{”redan anlagda skydds zoner”}) = \text{”Total reduktion (P)”}$

Tabell 9. Reduktion av kväve och fosfor efter resultat av anläggande av skydds zoner.

Havsområde	Redan anlagda skydds zoner (%)	Total Reduktion av N (kg)	Total Reduktion av P (kg)
Byfjorden	10	77	61
Havstensfjorden	10	81	77
Ljungs kile	2	36	38
Halsefjorden	2	37	52
Askeröfjorden	2	24	27
Hake fjorden	2	95	138
Älgöfjorden	2	35	73
Stigfjorden	2		
Kalvöfjorden	2	74	83
Kalvöfjord	2	48	42
Borgilefjorden	2	0	0
Koljö fjord	2	64	61
Summa		570	652

Våtmark på åkermark

Vi antar att våtmark/damm anläggs på 1% av åkermarksarealen som har $\geq 50\%$ jordbruk per område (se avsnitt 5.1.1). Det ger totalt 54 ha våtmarksyta i hela Orust-Tjörn området (tabell 10).

Tabell 10. Den beräknade reduktionen av kväve och fosfor till bassängerna i fjordsystemet.

Havsområde	Areal åkermark per GSDhöjd-område (ha)	Våtmarksareal (ha)	Reduktion N 200 kg/ha 5 % (kg)	Reduktion N 400 kg/ha 10 % (Kg)	Reduktion P 25 % (kg)
Byfjorden	1026	11	2200	4400	205
Havstensfjorden	603	6	1200	2400	165
Ljungs kile	54	1	200	400	30
Halsefjorden	237	3	600	1200	95
Askeröfjorden	286	3	600	1200	80
Hake fjorden	1025	10	2000	4000	305
Älgöfjorden	480	5	1000	2000	175
Stigfjorden	14	1	200	400	0
Kalvöfjorden	929	10	2000	4000	275
Kalvöfjord	43	1	200	400	30
Borgilefjorden	0	0	0	0	0
Koljö fjord	307	3	600	1200	90
Totalt	5004	54	10800	21600	1450

En reduktion av kväve på 5 % (motsvarar 200 kg/ha som rekommendation av jordbruksverket) ger en total reduktion av kväve motsvarande 10800 kg N/år. Om vi istället antar en reduktion av kväve på 10 % (400 kg/ha, vilket motsvarar resultat från LIP projektet) resulterar det i en total reduktion på 21 600 kg N/år. Fosforreduktionen för våtmark har visat sig vara 10-48% (Hellberg 2004, Sveistrup 2005). Vi använder oss av ett exempel från Norge med fangedammar (Bioforsk 2008) för att beräkna reduktionen av fosfor från antagna våtmarker. En våtmark på 1 hektar antas ha ett tillrinningsområde på 100 ha. Den beräknade reduktionen baseras på medelmarkläckaget från jordbruksmark i avrinningsområdet (tabell 8) till varje bassäng och en antagen reningseffekt på 25 %. Den beräknade totala reduktionen av fosfor till fjordsystemet är då 1450 kg P/år (tabell 10). I tabell 10 anges också reduktionen av näringsämnen till varje bassäng som fås genom anläggande av våtmark.

$$X_p \cdot 100 \cdot 0.25 \cdot \text{”hektar våtmarksareal”} = \text{”Reduktion P”}$$

6.2. Åtgärdernas effekt på landtillförseln

Beräkningarna visar att det är realistiskt att reducera mängden näringsämnen som läcker från avrinningsområdet till hela Orust-Tjörns fjordsystem med 4 % kväve och 14 % fosfor (tabell 11). Jämfört med den antropogena landtillförseln kan vi reducera kväve- och fosfortillförseln med 9 % respektive 23 %. Med ett realistiskt åtgärdsprogram är alltså tillförseln av fosfor som vi kan påverka mest.

Tabell 11. Reduktion av näringsämnen till Orust-Tjörn fjordsystem. Tabellen redovisar de åtgärder som gjorts i modellsimulering (1). Skillnaden mellan simulering (1) och (2) är att vi i simulering (2) flyttar allt ARV utanför fjordsystemet. Den procentuella reduktionen är relaterad till total antropogen tillförsel dvs 374 630 kg N/år och 32 860 kg P/år.

Reduktion	Kg N/år	Kg P/år	N (%)	P (%)	
Reningsverk	-11 700	-50	3	0	Enl. Kommunernas planer
Enskilda avlopp	-7 530	-4 480	2	14	Enskilda avlopp uppgraderas till hög skyddsnivå (N-50%, P-90%)
Skyddszon	-570	-650	0	2	30 % reduktion av N 50 % reduktion av P
Våtmark/damm	-16 400	-2 270	4	7	5 % reduktion av N (200 kg N/ha); 25 % reduktion av P
Summa reduktion	-36 200	-7 460	9	23	

Tabell 12. Reduktion av näringsämnen till Orust och Tjörns fjordsystem. Tabellen redovisar de åtgärder som gjorts i modellsimulering (2). Skillnaden mellan simulering (1) och (2) är att vi i simulering (2) flyttar allt ARV utanför fjordsystemet. Den procentuella reduktionen är relaterad till total antropogen tillförsel dvs 374 630 kg N/år och 32 860 kg P/år.

Reduktion	Kg N/år	Kg P/år	N (%)	P (%)	
Reningsverk	-121 250	-2 520	32	8	Utsläppspunkten för ARV sker utanför fjordsystemet.
Enskilda avlopp	-7 540	-4 480	2	1	Enskilda avlopp uppgraderas till hög skyddsnivå (N-50%, P-90%)
Skyddszon	-570	-650	0	2	30 % reduktion av N 50 % reduktion av P
Våtmark/damm	-16 400	-2 270	4	7	5 % reduktion av N (200 kg N/ha); 25 % reduktion av P
Summa reduktion	-145 550	-9 910	35	30	

Om avloppsreningsverken (ARV) sammankopplas och utsläppspunkten flyttas utanför fjordsystemet är motsvarande siffror 13 % kväve och 18 % fosfor, vilket lyfter fram den stora påverkan som dessa utsläpp har på fjordsystemet (tabell 12). Jämfört med den antropogena landtillförseln kan vi då reducera kväve- och fosfortillförseln med 35 % respektive 30 %. Motsvarande tabell 11 för varje fjord i systemet visas i bilaga A.

I det realistiska åtgärds paketet för kväve för hela fjordsystemet (åtgärds paket 1) utgörs den största delen av reduktionen av anläggande av våtmark (45 %) och flyttningen av reningsverken enligt kommunernas planer kommer först på andra plats (32 %). Enskilda avlopp ger ett bra bidrag (21 %), medan skyddszon bidrar endast med 2 %. Skyddszoner är dock att betrakta som främst en fälla för partikulärt bundet fosfor. För enskilda fjordar i systemet ser fördelningen annorlunda ut (se bilaga A). Om man väljer att dra ut allt ARV utanför fjordsystemet så dominerar den effekten totalt för reduktionen av kväve (84 %). Fortfarande ger våtmarker ett viktigt bidrag (11 %), men vikten av åtgärder på enskilda avlopp och skyddszoner minskar (1-2 %). Observera att det är den relativa vikten av åtgärderna som minskar, reduktionen i kilo är densamma

Källfördelningen för reduktionen för de två åtgärdsracken visas i figur 22 och 23 nedan.



Figur 22. Källfördelningen av reduktionen i åtgärdsrack 1 (se tabell 11).



Figur 23. Källfördelningen av reduktionen i åtgärdsrack 2 (se tabell 12).

I det realistiska åtgärdsracket för fosfor får vi en något annorlunda bild. I detta fallet är inte åtgärden på reningsverken lika viktiga för reduktionen (1 %). Istället är det åtgärder på enskilda avlopp (59 %) och våtmarker (31 %) som bidrar mest. Skydds-zoner längs vattendrag i anslutning till åkermark utgör ett mindre bidrag, men utgör närmare (9 %) av reduktionen. För enskilda fjordar i systemet ser fördelningen annorlunda ut (se bilaga A). Om man väljer att dra ut allt ARV utanför fjordsystemet så dominerar fortfarande effekten av enskilda avlopp men den minskar till 45 % och reningsverken ger 25 % av reduktionen. Våtmarker står de för 23 % och skydds-zoner för 7 % av reduktionen i hela systemet.

I fjordar utan näringsbidrag från avloppsreningsverk och ett förhållandevis stort bidrag från jordbruket ger våtmarker och skydds-zoner ett bra bidrag till näringsreduktionen. Det gäller t ex Koljö fjord där anläggande av våtmarker och skydds-zoner står för 90 % respektive 6 % för kväve och 65 % respektive 26 % för fosfor (se Appendix A). I den grunda känsliga Kalvöfjorden mellan Orust och Tjörn står anläggande av våtmark för 95 % och 63 % av reduktionen av kväve respektive fosfor enligt våra beräkningar (Appendix A).

Att förbättringar på enskilda avlopp ger ett så stort bidrag till reduktionen av fosfor beror på att antalet enskilda avlopp till framförallt, Havstensfjorden, Hakefjorden och även Byfjorden är stort, men också pga att en förbättrad rening innebär att man går från en mycket dålig rening till att i det närmaste reducera all fosfor (90 %).

6.3. Åtgärdernas effekt på havet

Resultat på kustvattenförekomstnivå

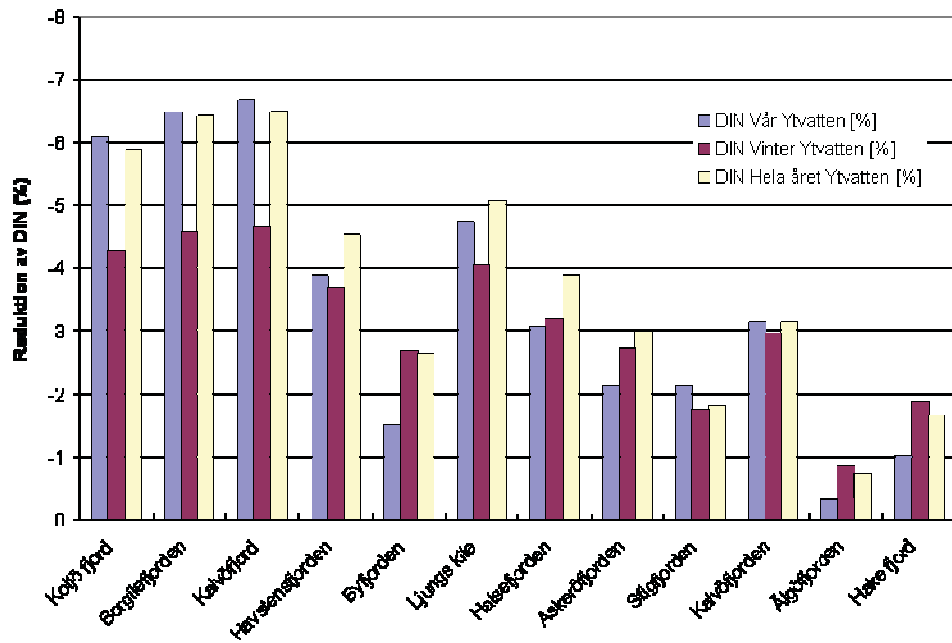
Två simuleringar har genomförts där simulering (1) simulerar ett realistisk åtgärds paket. Medan simulering (2) simulerar effekten av att dra alla utsläpp från avloppsreningsverk i fjordsystemet till Marstrandsfjorden utanför, tillsammans med övriga realistiska åtgärder på jordbruk och enskilda avlopp.

Tabell 13. Total tillförsel och förändring i tillförsel av näringsämnen från land till Orust-Tjörns fjordsystem och Marstrandsfjorden som simuleras i modellsimulering (1)-(2).

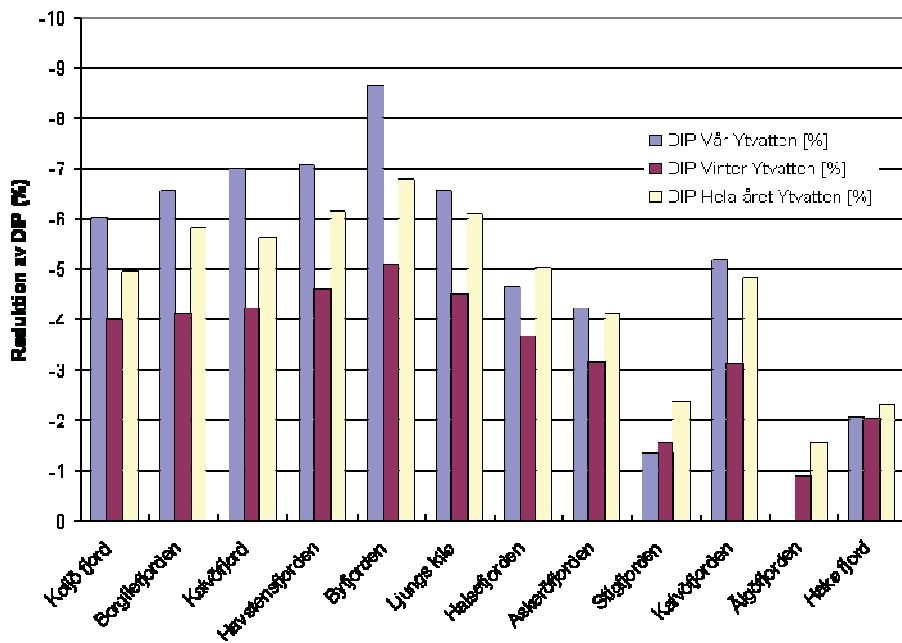
	Innan		Ökning (+); Reduktion (-)			
	N (ton/år)	P (ton/år)	N (ton/år)	P (ton/år)	N (%)	P (%)
Hela fjordsystemet						
Simulering (1)	793	51	-36	-7.5	-4	-14
Simulering (2)	793	51	-145	-10	-16	-19
Marstrandsfjorden						
Simulering (1)	0	0	0	0		
Simulering (2)	28	0.6	+110	+2.5	+300	+300

Enligt SMHI:s kustzonmodellssystem är den totala årsbelastningen från land på fjordsystemet innanför Orust och Tjörn 933 ton kväve och 56 ton fosfor. Åtgärds paketerna i simulering (1) och (2) ger en reduktion från land till fjordsystemet på 4 % respektive 16 % av kväve, och 13 % respektive 18 % av fosfor, av den totala tillförseln, vilket presenterats i avsnitt 6.2. Och i simulering (2) dessutom en ökning från land till Marstrandsfjorden på ca 300 % kväve och fosfor (se tabell 13).

I simulering (1) med realistiska åtgärder på reningsverk, enskilda avlopp och jordbruk fås en tydlig reduktion i vinter/vår koncentrationerna i hela fjordsystemet. De största effekterna syns där uppehållstiden för vattnet är längst, dvs i de bassänger som är sämst på att göra sig av med näringen och alltså är känsligast för övergödning. Eftersom transporten av näring mellan bassängerna ofta är större än landtillförseln så kan en reduktion i tex Byfjorden påverka en annan bassäng mer än den lokala reduktionen. Det kan man tydligt se i framförallt figur 24, där vi får en stor effekt av reduktionen i utsläpp från avloppsreningsverk även i fjordarna norr om Orust och i Halsefjorden, trots att den största reduktionen sker i tillförseln till Byfjorden, Ljungkile, och Askeröfjorden. De fjordar med bäst kontakt med kustvattnet som Älgöfjorden, Hakefjorden och Stigfjorden är de bassänger där reduktionen i landtillförsel får minst effekt.



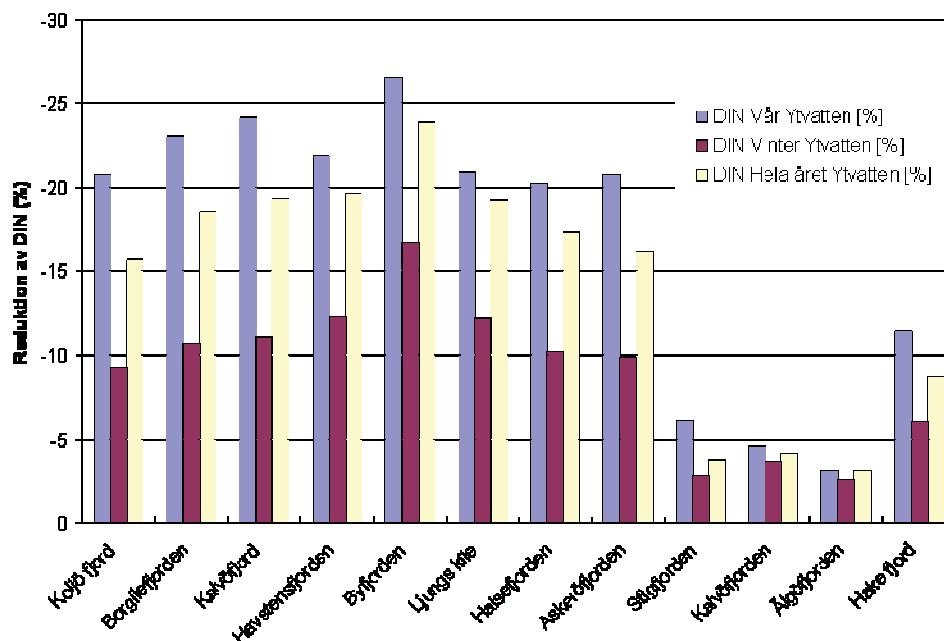
Figur 24. Effekten på den oorganiska delen av kvävekoncentrationen (DIN) med ett realistisk åtgärdsprogram för hela Orust-Tjörns fjordsystem. Simuleringarna är gjorda med SMHI:s kustzonsmodell system.



Figur 25. Effekten på fosfatkoncentrationen (DIP) i ytvattnet i fjordarna med ett realistisk åtgärdsprogram för hela Orust-Tjörns fjordsystem. Simuleringarna är gjorda med SMHI:s kustzonsmodell system.

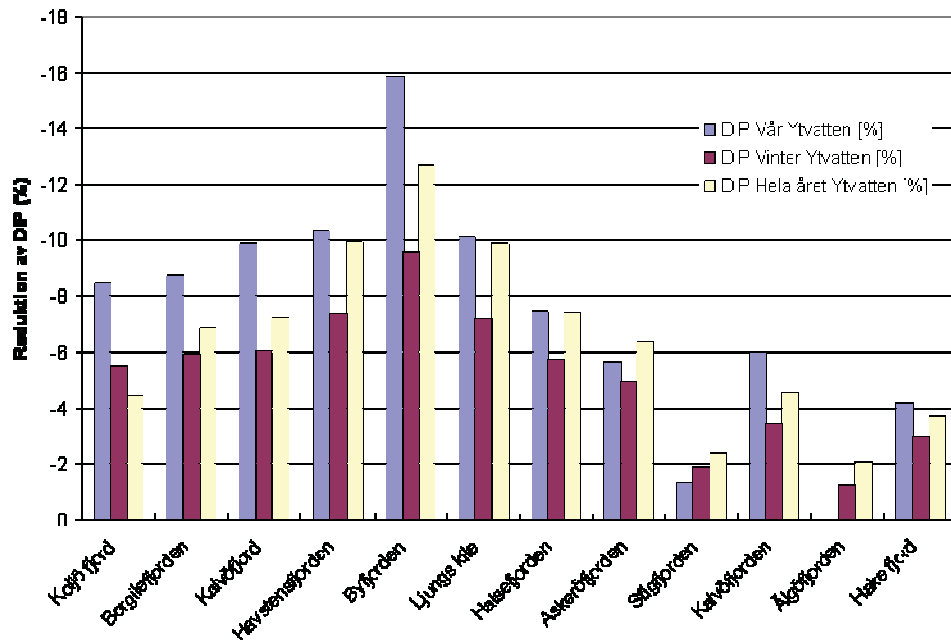
Vinter/vår koncentrationerna av kväve minskar med ungefär 5 % som mest och 2-3 % i de mindre känsliga områden med bättre vattenutbyte (figur 24). För fosfor är de siffrorna några procent högre (figur 25). Uddevalla reningsverk har en bra reningsgrad och är svår att förbättra.

Överkopplingen av Ljungkile ARV ger ett ökat utsläpp från reningsverket men övriga åtgärder skapar ändå en reduktion av näringskoncentrationen i Byfjorden. Övriga åtgärder är effektivare när det gäller reduktion av fosfor än kväve och resultatet är en större effekt på fosforkoncentrationerna i fjorden.



Figur 26. Effekten på den oorganiska delen av kvävekoncentrationen (DIN) i ytvattnet i fjordarna med ett realistisk åtgärdspaket för hela Orust-Tjörns fjordsystem. Dessutom har vi dragit ut avloppsvattnet från samtliga avloppsreningsverk till Marstrandsfjorden. Simuleringarna är gjorda med SMHI:s kustzonsmodell system.

I simulering (2) där avloppsvattnets utsläppspunkt flyttades till Marstrandsfjorden syns ingen effekt på näringskoncentrationen i Marstrandsfjorden (visas inte). Anledningen är de öppna förhållandena som medger en god blandning och kort uppehållstid för vattnet i fjorden. Reduktionen av näringskoncentrationen i ytvattnet ökar dramatisk inne i fjordsystemet i simulering (2) där vi drar ut avloppsvattnet ur fjordsystemet. Speciellt gäller det kväve där reduktionen inne i systemet blir 15-25 % (figur 26). Igen ser vi att de bassängerna med bättre vattenutbyte med kustvattnet påverkas mindre. Fosforreduktionen i fjordarnas ytvatten är mindre dramatisk än kvävereduktionen eftersom reningsgraden av fosfor i avloppsreningsverken är hög (figur 27). Men vi får tydligt minskade vinter/vårkoncentrationer av fosfor jämfört med simulering (1). Speciellt i Byfjorden som förser fjordsystemet med störst tillförsel från ARV. Reduktionen är i simulering (2) närmare 10 % i de mest påverkade fjordarna och i Byfjorden ca 15 %.



Figur 27. Effekten på fosfatkoncentrationen (DIP) i ytvattnet i fjordarna med ett realistisk åtgärds paket för hela Orust-Tjörns fjordsystem. Dessutom har vi dragit ut avloppsvattnet från samtliga avloppsreningsverk till Marstrandsfjorden. Simuleringarna är gjorda med SMHI:s kustzonsmodell system.

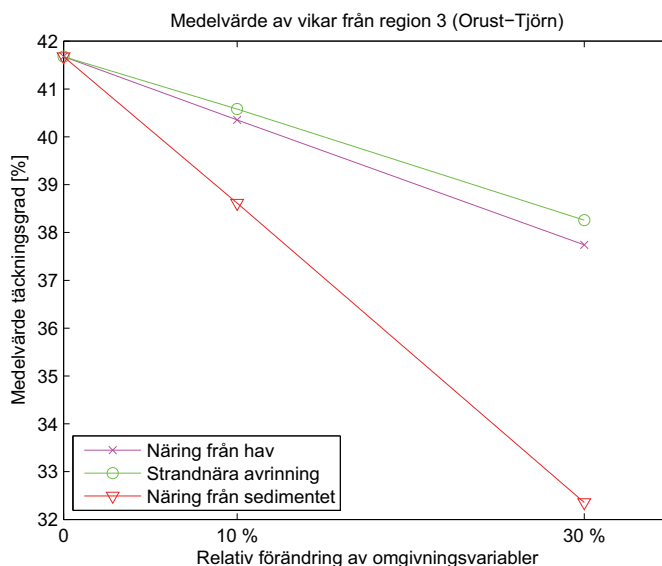
För att ha något att jämföra med har vi dessutom simulerat hur fjordsystemet skulle respondera om vi tar bort hela det antropogena bidraget, d.v.s. ca 50 % av dagens näringstillförsel från land. Minskningen av mängden oorganiskt kväve i ytvattnet var mellan 30 % till drygt 40 % med den största reduktionen in de inre delarna. För oorganiskt fosfor är reduktionen något mindre och varierar mellan 20 % till ca 30 %. Detta är naturligtvis en orimlig reduktion, men det ger oss en möjlighet att värdera hur framgångsrika åtgärds paketen är.

Resultat på viknivå

Modellsimuleringar av effekten av olika restaureringsåtgärder på viknivå har genomförts i Orust - Tjörn området med hjälp av ”vikmodellen”. En beskrivning av ”Vikmodellen” ges i avsnitt (I) 3.2.2. 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.

Näringsbidraget från land påverkar täckningsgraden av alger direkt som visas med grön linje i figur 21. 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. 21). 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.



Figur 28. 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 botten sediment på täckningsgraden av snabbväxande makroalger vid 10 respektive 30% näringsämnesreduktion.

7. Slutsatser

Det antropogena bidraget av näringsämnen till fjordsystemet innanför Orust och Tjörn utgör ca hälften av det totala bidraget från land både av kväve och av fosfor. Nederbörden i Bohuslän är hög och det medför att depositionen från atmosfären tillför en betydande mängd kväve. Den höga avrinningen i kombination med att den dominerande jordarten är lera gör att läckaget från marken av framförallt fosfor är stort jämfört med resten av landet. Åkermarkens del i näringstransporten till havet är därför stor och den antropogena delen som uppkommer dels genom gödsling men också genom jordbearbetning är stor i Bohuslän. Punktutsläppen av näringsämnen från kommunala avloppsreningsverk, industri, dagvatten och enskilda avlopp utgör tillsammans hälften av det antropogena utsläppet av kväve och ca 40 % av det antropogena utsläppen av fosfor. Åkermarken och punktutsläppen står alltså för ungefär lika mycket av näringsläckaget från oss människor. Olika delar av fjordsystemet har olika dominerande källor där exempelvis industrin ensam står för det största antropogena näringsbidraget till Askeröfjorden utanför Stenungsund, medan Skansverket dominerar den antropogena tillförseln till Byfjorden. Olika åtgärders effekt för att minska näringstransporten från land till de olika fjordarna i systemet varierar därför.

Åtgärder behövs för att öka retentionen av näringsämnen genom att anlägga våtmarker, skyddszoner, och restaurera vattendrag. I området är det också angeläget att förbättra spridningsstrategin för stallgödsel i förhållande till årstid och gröda, och om möjligt minska markbearbetningen. Effekten av sådana åtgärder har dock inte beräknats i denna rapport. När det gäller punktutsläpp är det viktigt att överväga ökade krav på reningsgrad i en känslig recipient som fjordsystemet innanför Orust och Tjörn. Det gäller så väl större som mindre utsläpp, och en kartläggning av enskilda avlopp är nödvändigt för att kunna prioritera åtgärder. Utsläppspunkten för enskilda avlopp är ofta i grunda känsliga områden vilket gör att åtgärder för att förbättra avloppen gör mest nytta på den lilla vikskalan. Utsläppspunkter för större reningsverk och industrier bör också ses över. Våra modellberäkningar visar att om man flyttar ut de större punktutsläppen ur fjordsystemet reduceras näringskoncentrationen i fjordarnas ytvatten väsentligt. En långsiktig gemensam plan för detta arbete bör arbetas fram av berörda kommuner.

Två åtgärdspaket har tagits fram för området. Med åtgärdspaketet 1 som baserats på lokala förutsättningar i avrinningsområdet till fjordsystemet innanför Orust och Tjörn kan vi reducera tillförseln från land med 4 % kväve och 14 % fosfor mot dagens tillförsel. Jämfört med den antropogena tillförseln blir reduktionen 9 % och 23 % för kväve respektive fosfor.

De åtgärder som bidrar mest till reduktionen från land varierar mellan fjordarna i systemet. Generellt för hela fjordsystemet är det anläggande av våtmarker som bidrar mest till reduktionen av kväve. Kommunernas planerade förbättringar på avloppsreningsverken och förbättrade enskilda avlopp ger också viktiga bidrag. Till reduktionen av fosfor från land bidrar åtgärder på enskilda avlopp med en stor del. Även åtgärder inom jordbruket (våtmarker, skyddszoner) ger viktiga bidrag.

Fjordsystemet skulle troligen ha förhöjda näringskoncentrationer jämfört med kustvattnet även utan någon antropogen tillförsel pga det begränsade vattenutbytet. Idag är vinterkoncentrationerna av närsalter i betydligt högre än i kustvattnet. En modellsimulering där vi reducerar all antropogen tillförsel från land ger oss en möjlighet att bedöma hur mycket våra åtgärds paket påverkar. Modellsimuleringen indikerar att koncentrationen av näringsämnen i ytvattnet skulle minska med 30 % till 40 % för oorganiskt kväve och 20 % till 30 % för oorganiskt fosfor. Effekten i havet är som störst längst in i systemet och norr om Orust där vattenutbytet med kustvattnet är minst. Åtgärds paket 1 ger en reduktion i vinter-/vårkoncentrationen av oorganiska kväve på ca 5 % och något reduktion av högre av oorganisk fosfor.

Att dra ut utsläppspunkten för de större reningsverken är en mer kostsam och långsiktig åtgärd, men skulle ge en betydande effekt på havsmiljön. Reduktionen från land skulle med en sådan åtgärd öka till 16 % och 19 % av den totala landtillförseln av kväve och fosfor, och 35 % respektive 30 % av den antropogena landtillförseln av kväve och fosfor. Modellsimuleringen visar en kraftig reduktion i vinter-/vårkoncentrationerna av kväve i ytvattnet i de inre delarna av fjordsystemet på 15-25 %, och en något mindre reduktion (6-12 %) för fosfor.

Den minskade näringstillgången påverkar i sin tur primärproduktionen i fjordsystemet och mängden växtplankton. Det realistiska åtgärds paketet tycks höja kvoten mellan vinterkoncentrationen av kväve och fosfor eftersom åtgärderna tar mest på fosfortillförseln. Kvoten mellan DIN och DIP är idag är tydligt över Redfields ration (16) och ligger runt 20 i Byfjorden och Havstensfjorden, och Halsefjoren. När det gäller den pelagiska produktionen kan den anses vara ett fosforbegränsad p.g.a. av den höga kvoten. Makroalger (t ex grönalger) har en högre kvot (30) för maximal tillväxt och är istället kvävebegränsade. Med det andra åtgärds paketet fås istället en större reduktion på kvävet vilket skulle minska tillgången och minska kvoten (mot ett mer kvävebegränsat system). Simuleringar där vi reducerar all antropogen tillförsel indikerar att kvoten är förskjutet uppåt p.g.a. människans bidrag och en högre reduktion av kväve skulle då bidra till en återgång till mer ursprungliga förhållanden. En minskad primärproduktion innebär en minskad sedimentation av organiskt material till fjordarnas djupvatten eftersom den lokala produktionen kan antas utgöra ett viktigt bidrag pga den långa uppehållstiden för ytvattnet. Detta skulle i så fall kunna förbättra syreförhållandena i djupvattnet.

8. Referenser

- Albertsson, J, Cederwall, H., Agrenius, S., Magnusson, M. 2008. Bottendjurens visar på försämrad status. I *Havet 2008 – om miljötillståndet i svenska havsområden*. eds. Viklund, K, Tidlund, A. Brenner, U. & Svahn, K. Naturvårdsverket i samarbete med Sveriges tre marina forskningscentrum. www.havet.nu
- Aure J., Molvær J., Stigebrandt, 1996. Observations of inshore water exchange forced by a fluctuating offshore density field. *Marine Pollution Bulletin* 33: 112-119.
- Baden S, Gullström M, Lundén B, Pihl L, Rosenberg R 2003. Vanishing Seagrass (*Zostera marina*, L.) in Swedish coastal waters. *AMBIO* 32: 374-377.
- Björk G., Liungman O., Rydberg L., 2000. Net circulation and salinity variations in an open-ended Swedish fjord system. *Estuaries*, 23(3): 367-380.
- Blindow, I., 2000. Distribution of Charophytes along the Swedish coast in relation to salinity and eutrophication. *Internat. Rev. Hydrobiol.* 85: 707-717.
- Borum J, Duarte CM, Krause-Jensen D, and TM, Greve 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.
- Hellberg L., 2004. RENT-VATTEN i Öresundsregionen – en åtgärdsinventering. RENT-VATTEN.
- IVL Svenska Miljöinstitutet AB, 2008. Uppföljning förstudie åtgärdskostnad för Vattenmyndigheten. Arkiv nr. U2321.
- Jordbruksverket 2008. Åtgärder inom jordbruket för god vattenstatus. Rapport 2008:31
- Liss, B. 2003. Kvantifiering av kväve- och fosforbelastning från enskilda avlopp. Examensarbete, Institutionen för geovetenskap, Uppsala Universitet.
- Liungman O., Rydberg L., and Björk G., 1996. Data report on measurements of currents, sea level, and hydrography in the Orust-Tjörn fjord system.
- Naturvårdsverket, 1995. Vad innehåller avlopp från hushåll? Rapport 4425.
- Naturvårdsverket, 2007. Bedömningsgrunder för sjöar och vattendrag. Bilaga A till Handbok 2007:4.
- Nyqvist A, André C, Gullström M, Pihl Baden S, Åberg P (*in press*) Dynamics of Seagrass Meadows on the Swedish Skagerrak Coast. *Ambio*.
- Pihl L, Svenson A, Moksnes P-O, Wennhage H 1999. Distribution and production of ephemeral algae in shallow coastal areas on the Swedish west coast. *Journal of Sea Research* 41: 281-294.

Ruist E., 2008. Fosfor- och kvävefraktioner i miljöövervakningen, en studie av bohuslänska vattendrag. Examensarbete, Göteborgs universitet. Rapport 2008:86, Länsstyrelsen Västra Götalands län.

Short FT, Wyllie-Echeverria S 1996. Natural and human-induced disturbance of seagrasses. *Environmental Conservation* 23: 17-27

Sveistrup T. E., Baskerud B.C., 2005. Bygg fangdammene nær jordet! *Jordforsk nytt*.

SMED 2007. Indata mindre punktkällor för PLC5 rapporteringen 2007. ISSN: 1653-8102

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.

Viktorsson L., 2007. Water quality response to reduced phosphorus and nitrogen loads to Byjord. Examensarbete. Geovetacentrum, Göteborgs Universitet. ISSN 1400-3821

Bilagor:

Bilaga A

Tabell 3. Större punktsläpp i avrinningsområdena till de tretton havsområdena runt Tjörn och Orust. Uppgifter från 2007 om inte annat anges.

Havsområde	Tätort	Kommunalt ARV		Industri		Enskilda avlopp		Anmärkning
		N kg per år	P kg per år	N kg per år	P kg per år	N kg per år	P kg per år	
Malö strömmar						30	1,2	Malö, Privat minireningsverk
Malö strömmar						120	1	Flinks handel
Koljö fjord								
Borgjulefjord								
Kalvöfjord	Henån	5 100	48					Uppgifterna avser 2006. Avloppet från Henån överfördes hösten 2007 till Ellös ARV.
Kalvöfjord	Vindön					105	2	Samfällighet
Byfjorden	Uddevalla	66 000 Renings- effekt Ca 70%	1 200					Dessutom bräddade 720 kg N och 80 kg P från reningsverket. Ljungskile ARV kommer att anslutas till Uddevalla ARV. Dessutom kommer i snitt ca 130 st enskilda avlopp per år med dålig rening att anslutas till Uddevalla ARV, totalt ca 1300 under en tioårsperiod.
Byfjorden	Fagerhult och Kyrkebyn		Max. 65					Två mindre reningsverk i övre delen av Bäveåns vattensystem
Ljungs kile	Ljungskile	8 000	40					Utsläppet överförs till Uddevalla 2010? Reningseffekten avseende kväve är ca 35 %

Havstensfjorden	Svanesund	4 600	11						Varekils reningsverk vid Halsefjorden kan ev. anslutas Svanesund. Ingen kväverening planeras för Svanesund. Ansökan om tillstånd har inkommit till Länsstyrelsen. Men ansökan innebär ingen förbättrad rening!
Havstensfjorden	Slussen		0		97	2,2			Brunefjäll 1:41 samt Waldorfskolan i Slussen
Halsefjorden	Varekil	1 300	1						Recipient Varekilsån. Kan tänkas anslutas till Svanesund ARV
Halsefjorden	Säckeback, Skåpesund, och Varekilsområde								En anslutning av Säckeback, Skåpesund och Varekil till Svanesund ARV skulle innebära ett minskat utsläpp av 230 kg kväve och 190 kg fosfor enligt kommunens beräkning
Askeröfjorden	Stenungsund	17 000	740						Dessutom bräddade 100 kg N och 10 kg P från reningsverket. Kommunalt VA är utbyggt längs kommunens hela kuststräcka och inkluderar Ödsmål, Strandnorum Stora Höga, Jörlanda och Timmerviksområdet
Askeröfjorden	Stenungsund, Akzo Nobel				10 000	900			
Askeröfjorden	Stenungsund, Borealis Polyeten				1 100	400			
Askeröfjorden	Stenungsund, Borealis Kracker				5 200	680			
Askeröfjorden	Stenungsund, INEOS Sverige AB,				4 400				
Askeröfjorden	Stenungsund, Perstorp Oxo				5 600	70			
Stigfjorden	Svanvik	430	10						Nytt reningsverk 2007, Utsläppen 2006 var 990 kg N och 20 kg P

Bilaga B

Tabell B1. Reduktion av näringsämnen till *Koljö fjord*. Skillnaden mellan simulering (1) och (2) är att vi i simulering (2) flyttar allt ARV utanför fjordsystemet. Den procentuella reduktionen är relaterad till total antropogen tillförsel dvs 14 660 kg N/år 1 355 kg P/år.

Reduktion	Kg N/år	Kg P/år	N (%)	P(%)	
Reningsverk	0 (0)	0 (0)	0	0	Parantes-Utsläppspunkten för ARV sker utanför fjordsystemet.
Enskilda avlopp	-42	-21	0	1	Enskilda avlopp uppgraderas till hög skyddsnivå (N-50%, P-90%)
Skyddszon	-64	-61	0	4	30 % reduktion av N 50 % reduktion av P
Våtmark/damm	-600	-90	4	7	5 (10) % reduktion av N (200 kg N/ha); 25 (50) % reduktion av P
Summa	-706	-172	5	13	

Tabell B2. Reduktion av näringsämnen till *Borgilefjorden*. Skillnaden mellan simulering (1) och (2) är att vi i simulering (2) flyttar allt ARV utanför fjordsystemet. Den procentuella reduktionen är relaterad till total antropogen tillförsel dvs 1200 kg N/år och 107 kg P/år.

Reduktion	Kg N/år	Kg P/år	N (%)	P(%)	
Reningsverk	-0	-0	0	0	Parantes-Utsläppspunkten för ARV sker utanför fjordsystemet.
Enskilda avlopp	-28	-16	2	15	Enskilda avlopp uppgraderas till hög skyddsnivå (N-50%, P-90%)
Skyddszon	-0	-0	0	0	30 % reduktion av N 50 % reduktion av P
Våtmark/damm	-0	-0	0	0	5 (10) % reduktion av N (200 kg N/ha); 25 (50) % reduktion av P
Summa	-28	-16	2	15	

Tabell B3. Reduktion av näringsämnen till *Kalvö fjord*. Skillnaden mellan simulering (1) och (2) är att vi i simulering (2) flyttar allt ARV utanför fjordsystemet. Den procentuella reduktionen är relaterad till total antropogen tillförsel dvs 16 200 kg N/år och 1 388 kg P/år.

Reduktion	Kg N/år	Kg P/år	N (%)	P(%)	
Reningsverk	-0	-0	0	0	Parantes-Utsläppspunkten för ARV sker utanför fjorsystemet.
Enskilda avlopp	-254	-213	2	15	Enskilda avlopp uppgraderas till hög skyddsnivå (N-50%, P-90%)
Skyddszon	-48	-42	0	3	30 % reduktion av N 50 % reduktion av P
Våtmark/damm	-200	-60	1	4	5 (10) % reduktion av N (200 kg N/ha); 25 (50) % reduktion av P
Summa	-502	-315	3	22	

Tabell B4. Reduktion av näringsämnen till *Byfjorden*. Skillnaden mellan simulering (1) och (2) är att vi i simulering (2) flyttar allt ARV utanför fjordsystemet. Den procentuella reduktionen är relaterad till total antropogen tillförsel dvs 123 360 kg N/år och 4 755 kg P/år.

Reduktion	Kg N/år	Kg P/år	N (%)	P(%)	
Reningsverk	4000 (-64 000)	-40 (-1 700)	3 (52)	1 (36)	Parantes-Utsläppspunkten för ARV sker utanför fjorsystemet.
Enskilda avlopp	-1330	-714	1	15	Enskilda avlopp uppgraderas till hög skyddsnivå (N-50%, P-90%)
Skyddszon	-77	-61	0	1	30 % reduktion av N 50 % reduktion av P
Våtmark/damm	-2 200	-510	2	10	5 (10) % reduktion av N (200 kg N/ha); 25 (50) % reduktion av P
Summa	-7 607 (-67 607)	-1 325 (-2 985)	6 (55)	28 (63)	

Tabell B5. Reduktion av näringsämnen till *Havstensfjorden*. Skillnaden mellan simulering (1) och (2) är att vi i simulering (2) flyttar allt ARV utanför fjordsystemet. Den procentuella reduktionen är relaterad till total antropogen tillförsel dvs 54 580 kg N/år och 5000 kg P/år.

Reduktion	Kg N/år	Kg P/år	N (%)	P(%)	
Reningsverk	-1300 (-4 500)	0 (-30)	2 (8)	0 (0)	Parantes-Utsläppspunkten för ARV sker utanför fjordsystemet.
Enskilda avlopp	-1120	-790	2	16	Enskilda avlopp uppgraderas till hög skyddsnivå (N-50%, P-90%)
Skyddszon	-80	-77	0	1	30 % reduktion av N 50 % reduktion av P
Våtmark/damm	-1200	-330	2	7	5 (10) % reduktion av N (200 kg N/ha); 25 (50) % reduktion av P
Summa	-3700 (-6 900)	-1200 (-1230)	7 (13)	24 (25)	

Tabell B6. Reduktion av näringsämnen till *Ljungs kile*. Skillnaden mellan simulering (1) och (2) är att vi i simulering (2) flyttar allt ARV utanför fjordsystemet. Den procentuella reduktionen är relaterad till total antropogen tillförsel dvs 29 230 kg N/år och 1530 kg P/år.

Reduktion	Kg N/år	Kg P/år	N (%)	P(%)	
Reningsverk	-8 000 (-8 800)	-40 (-82)	27 (30)	3 (5)	Parantes-Utsläppspunkten för ARV sker utanför fjordsystemet.
Enskilda avlopp	-665	-394	2	25	Enskilda avlopp uppgraderas till hög skyddsnivå (N-50%, P-90%)
Skyddszon	-35	-38	0	3	30 % reduktion av N 50 % reduktion av P
Våtmark/damm	-200	-60	1	4	5 (10) % reduktion av N (200 kg N/ha); 25 (50) % reduktion av P
Summa	-8 900 (9700)	-530 (570)	30 (33)	35 (38)	

Tabell B7. Reduktion av näringsämnen till *Halsefjorden*. Skillnaden mellan simulering (1) och (2) är att vi i simulering (2) flyttar allt ARV utanför fjordsystemet. Den procentuella reduktionen är relaterad till total antropogen tillförsel dvs 13 950 kg N/år och 1835 kg P/år.

Reduktion	Kg N/år	Kg P/år	N (%)	P(%)	
Reningsverk	-1300 (-1 760)	0 (-20)	9 (13)	0 (1)	Parantes-Utsläppspunkten för ARV sker utanför fjorsystemet.
Enskilda avlopp	-180	-167	1	9	Enskilda avlopp uppgraderas till hög skyddsnivå (N-50%, P-90%)
Skyddszon	-32	-52	0	3	30 % reduktion av N 50 % reduktion av P
Våtmark/damm	-600	-190	4	10	5 (10) % reduktion av N (200 kg N/ha); 25 (50) % reduktion av P
Summa	-2 110 (2570)	-410 (-430)	15 (18)	22 (23)	

Tabell B8. Reduktion av näringsämnen till *Askeröfjorden*. Skillnaden mellan simulering (1) och (2) är att vi i simulering (2) flyttar allt ARV utanför fjordsystemet. Den procentuella reduktionen är relaterad till total antropogen tillförsel dvs 56 470 kg N/år och 3645 kg P/år.

Reduktion	Kg N/år	Kg P/år	N (%)	P(%)	
Reningsverk	0 (-22 200)	0 (-457)	0 (39)	0 (12)	Parantes-Utsläppspunkten för ARV sker utanför fjorsystemet.
Enskilda avlopp	-380	-200	0	5	Enskilda avlopp uppgraderas till hög skyddsnivå (N-50%, P-90%)
Skyddszon	-24	-27	0	1	30 % reduktion av N 50 % reduktion av P
Våtmark/damm	-600	-160	1	4	5 (10) % reduktion av N (200 kg N/ha); 25 (50) % reduktion av P
Summa	-1 000 (-23 200)	-390 (-845)	2 (41)	10 (23)	

Tabell B9. Reduktion av näringsämnen till *Stigfjorden*. Skillnaden mellan simulering (1) och (2) är att vi i simulering (2) flyttar allt ARV utanför fjordsystemet. Den procentuella reduktionen är relaterad till total antropogen tillförsel dvs 3000 kg N/år och 530 kg P/år.

Reduktion	Kg N/år	Kg P/år	N (%)	P(%)	
Reningsverk	-0	-0	0	0	Parantes-Utsläppspunkten för ARV sker utanför fjordsystemet.
Enskilda avlopp	-148	-95	5	18	Enskilda avlopp uppgraderas till hög skyddsnivå (N-50%, P-90%)
Skyddszon	-0	-0	0	0	30 % reduktion av N 50 % reduktion av P
Våtmark/damm	-200	-0	7	0	5 (10) % reduktion av N (200 kg N/ha); 25 (50) % reduktion av P
Summa	-350	-100	12	18	

Tabell B10. Reduktion av näringsämnen till *Kalvöfjorden*. Skillnaden mellan simulering (1) och (2) är att vi i simulering (2) flyttar allt ARV utanför fjordsystemet. Den procentuella reduktionen är relaterad till total antropogen tillförsel dvs 20 780 kg N/år och 2 250 kg P/år.

Reduktion	Kg N/år	Kg P/år	N (%)	P(%)	
Reningsverk	0 (-0)	0 (-0)	0	0	Parantes-Utsläppspunkten för ARV sker utanför fjordsystemet.
Enskilda avlopp	-92	-134	0	6	Enskilda avlopp uppgraderas till hög skyddsnivå (N-50%, P-90%)
Skyddszon	-74	-83	0	4	30 % reduktion av N 50 % reduktion av P
Våtmark/damm	-2000	-570	10	25	5 (10) % reduktion av N (200 kg N/ha); 25 (50) % reduktion av P
Summa	-2 170	-785	10	35	

Tabell B11. Reduktion av näringsämnen till *Hakefjorden*. Skillnaden mellan

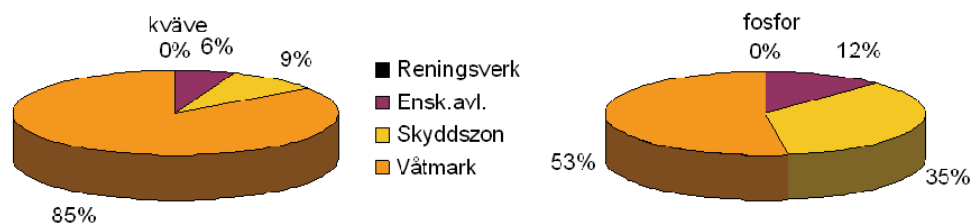
simulering (1) och (2) är att vi i simulering (2) flyttar allt ARV utanför fjordsystemet. Den procentuella reduktionen är relaterad till total antropogen tillförsel dvs 62 940 kg N/år och 7 820 kg P/år.

Reduktion	Kg N/år	Kg P/år	N (%)	P(%)	
Reningsverk	0 (-14 889)	0 (-185)	0 (24)	0 (2)	Parantes-Utsläppspunkten för ARV sker utanför fjordsystemet.
Enskilda avlopp	-2 197	-1 158	4	15	Enskilda avlopp uppgraderas till hög skyddsnivå (N-50%, P-90%)
Skyddszon	-95	-138	0	2	30 % reduktion av N 50 % reduktion av P
Våtmark/damm	-2 000	-610	3	8	5 (10) % reduktion av N (200 kg N/ha); 25 (50) % reduktion av P
Summa	-4 300 (-19 180)	-1 900 (-2670)	7 (30)	24 (27)	

Tabell B12. Reduktion av näringsämnen till *Älgöfjorden*. Skillnaden mellan simulering (1) och (2) är att vi i simulering (2) flyttar allt ARV utanför fjordsystemet. Den procentuella reduktionen är relaterad till total antropogen tillförsel dvs 15 380 kg N/år och 2 635 kg P/år.

Reduktion	Kg N/år	Kg P/år	N (%)	P(%)	
Reningsverk	-0 (-0)	-0 (-0)	0	0	Parantes-Utsläppspunkten för ARV sker utanför fjordsystemet.
Enskilda avlopp	-1101	-576	7	22	Enskilda avlopp uppgraderas till hög skyddsnivå (N-50%, P-90%)
Skyddszon	-35	-73	0	3	30 % reduktion av N 50 % reduktion av P
Våtmark/damm	-1000	-350	6	13	5 (10) % reduktion av N (200 kg N/ha); 25 (50) % reduktion av P
Summa	-2 140	-1000	14	38	

Bilaga C



Figur C1. Källfördelningen av näringsreduktionen i Kolje fjord.



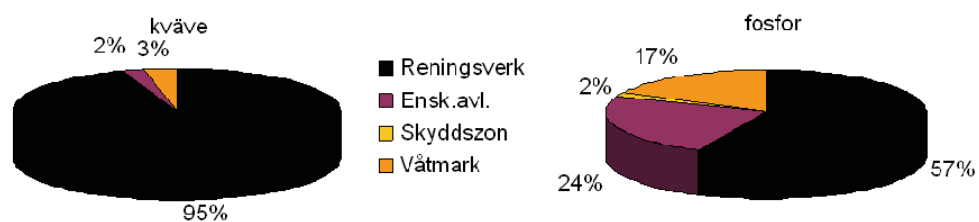
Figur C2. Källfördelningen av näringsreduktionen i Borgilefjorden



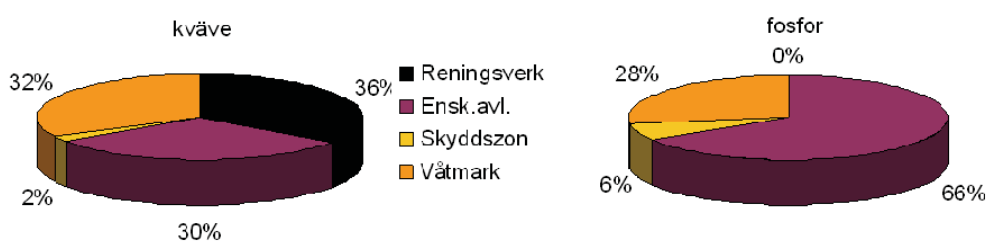
Figur C3. Källfördelningen av näringsreduktionen i Kalvö fjord.



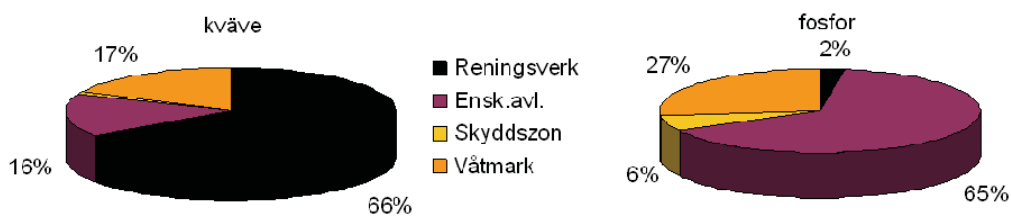
Figur C4. Källfördelningen av näringsreduktionen i Byfjorden (1).



Figur C5. Källfördningen av näringsreduktionen i Byfjorden (2).



Figur C6. Källfördningen av näringsreduktionen i Havstensfjorden (1).



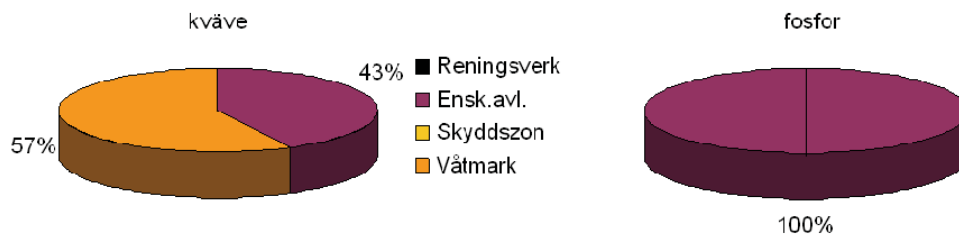
Figur C7. Källfördningen av näringsreduktionen i Havstensfjorden (2).



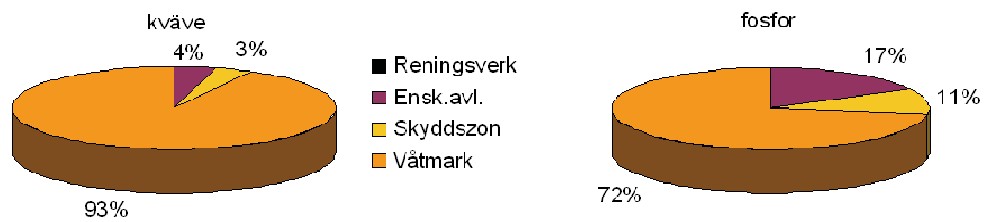
Figur C8. Källfördningen av näringsreduktionen i Ljungkile (1).



Figur C9. Källfördningen av näringsreduktionen i Ljungkile (2).



Figur C10. Källfördningen av näringsreduktionen i Stigfjorden.



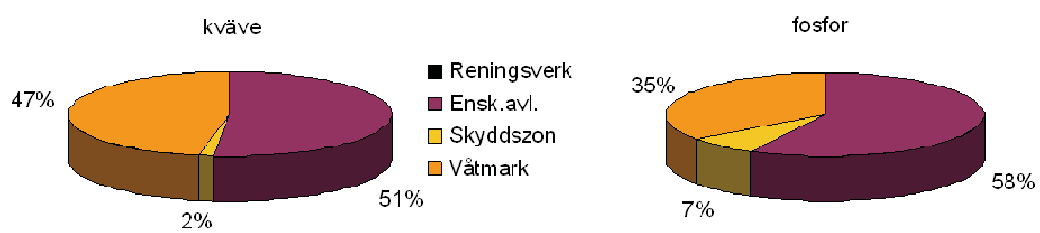
Figur C11. Källfördningen av näringsreduktionen i Kalvöfjorden.



Figur C12. Källfördningen av näringsreduktionen i Hakefjorden (1).



Figur C13. Källfördelningen av näringsreduktionen i Hakefjorden (2).



Figur C14. Källfördelningen av näringsreduktionen i Älgöfjorden.