



Länsstyrelserna

 **VATTENMYNDIGHETEN**
Västerhavet



**Finn de områden som göder havet mest
– och de som är mest känsliga för övergödning**

För mer information kontakta:

Länsstyrelsen i Västra Götalands län
vattenvårdsenheten

Tel: 031-60 50 00

Rapporten ingår i rapportserien för Västra Götalands län

Rapport: 2009:56

ISSN: 1403-168X

Text: Carina P. Erlandsson, Hans Lann, Elin Ruist,
Ulf Rönner, Lars Stibe och Markus Klingberg

Utgivare: Länsstyrelsen i Västra Götalands län, vattenvårdsenheten

Du hittar rapporten på vår webbplats

www.lansstyrelsen.se/vastragotaland under Publikationer



Länsstyrelserna

Västra Götaland
Halland
Skåne

**Finn de områden som göder havet mest
– och de som är mest känsliga för övergödning**

Förord

I Naturvårdsverkets regleringsbrev för 2007 (regeringsbeslut 26, 2006-12-21) avsattes medel för Vattenmyndigheten i Västerhavsdistriktet för att genomföra åtgärd 1 (Finn de områden som göder havet mest) i Aktionsplan för havsmiljön (Naturvårdsverkets rapport 5563). Vattenmyndigheten för Västerhavsdistriktet fick uppdraget i januari 2007 och tilldelades 3 miljoner för att genomföra uppdraget. Samma uppdrag gavs till vattenmyndigheterna för distrikten Södra Östersjön och Norra Östersjön. Redovisning av uppdraget till Miljödepartementet gjordes av länsstyrelsen i Västra Götalands län i december 2008.

Syftet med projektet har varit att:

- Identifiera de områden som har störst näringsbelastning
- Identifiera de områden som är mest övergödningsskänsliga.
- Föreslå åtgärder som minskar närsaltsbelastningen i prioriterade områden.

Arbetet har huvudsakligen genomförts av Carina Erlandsson, Hans Lann, Ulf Rönner, Elin Ruist. En styrgrupp och en referensgrupp har följt arbetet.

Denna rapport är en av två för ”Finn de områden som göder havet mest”, som också utgivit ”Fyra fallstudier för att minska övergödningen i Västerhavets vattendistrikt” där även resultat från regeringsuppdragen 51b (2007) ”Restaurering av övergödda havsvikar”, 51c (2007) ”Minskad påverkan på havsmiljön från enskilda avlopp” och 22 (2008) Återskapa våtmarker i odlingslandskapet” har utnyttjats.

Karin Pettersson

Biträdande vattenvårdsdirektör

Länsstyrelsen i Västra Götalands län

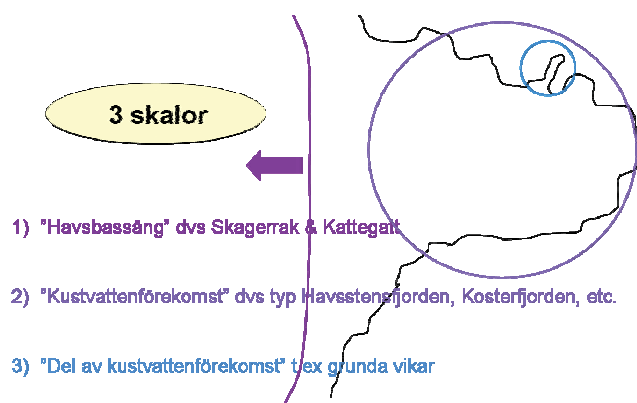
Vattenmyndigheten för Västerhavets vattendistrikt

Förord	1
1. Inledning	4
2. Sammanfattning och slutsatser	5
2.1. Generella slutsatser	5
2.2. Slutsatser om de områden som har högst belastning från land ...	5
2.3. Slutsatser om de mest övergödning känsliga områdena.....	6
2.4. Slutsatser om åtgärder mot övergödning	7
2.5. Slutsatser om effekter av åtgärder	7
2.6. Förslag på åtgärder	11
Åtgärder för att förbättra kunskapsunderlaget.....	11
Åtgärder inriktade på diffust markläckage orsakade av jordbruk och skogsbruk	12
Åtgärder inriktade på punktutsläpp - industri, avloppsrening	13
3. Metodik.....	15
3.1. Skalar	15
3.2. Fallstudier.....	15
3.3. Belastning.....	16
3.4. Övergödning känsligt kustområde	16
3.5. Observationer	18
3.6. Modellberäkningar.....	20
4. Skagerrak och Kattegatt	21
4.1. Områdesbeskrivning	21
Cirkulation och närsalter	21
4.2. Närsaltsutvecklingen från land och i våra hav	22
Tillförsel från land och atmosfär	22
Hur har havsvattnet påverkats	25
4.3. Källfördelning.....	26
Hur varierar bidragen från de olika källorna	26
4.4. Vilka källor påverkar mest	28
4.5. Slutsats	29
5. Bohuslän	30
5.1. Tillståndet i kustvattnet.....	30
Vattenutbyte & Hydrografi	30
Organiskt material & syreförhållanden.....	38
Snabbväxande makroalger	40
Övergödning känsliga områden.....	42
5.2. Belastning från land och atmosfär	43
5.3. Slutsatser.....	51
6. Göteborgsområdet	53
6.1. Tillståndet i kustvattnet.....	53

Vattenutbyte & Hydrografi	53
Organiskt material & syreförhållanden.....	56
Snabbväxande makroalger.....	57
Övergödningskänsliga områden.....	58
6.2. Belastning från land och atmosfär	58
6.3. Slutsats	60
7. Halland- och Skånekusten	61
7.1. Tillståndet i kustvattnet.....	61
Vattenutbyte & Hydrografi	61
Organiskt material & syreförhållanden.....	65
Snabbväxande makroalger.....	67
Övergödningskänsliga områden.....	67
7.2. Belastning från land och atmosfär	68
7.3. Slutsatser.....	73
8. Referenser.....	75

1. Inledning

En viktig del av arbetet har varit att definiera problemen på olika skalor och vi har arbetat med tre skalindelningar av havet (Figur 1); 1) Havsbassäng Kattegatt och Skagerrak, som är den största skalan. 2) Kustvattenförekomst, de efter morfologin indelade bassängerna längs västkusten. Dessa är 109 stycken och är av olika karaktär. 3) Delar av kustvattenförekomst, d.v.s. vikar och inestängda delar av kustvattenförekomster.



Figur 1. De tre geografiska skalor som används för att identifiera effekter av övergödning.

Indelningen är inte bara efter storleksordning utan även dynamiken och problemställningarna skiljer sig åt mellan de olika skalorna. Föreslagna åtgärder måste därmed anpassas för att få avsedd effekt. På den största skalan handlar det om att titta på från vilka länder respektive havsområden som tillförseln är störst och på så sätt kunna diskutera om och hur vi tillsammans kan påverka den generella situationen i våra gemensamma havsområden. Observationer av parametrar som indikerar övergödning finns för denna skala.

Nästa skala hanterar problematiken i kustzonen. Innestängda kustvattenförekomster med begränsat vattenutbyte är generellt mer känsliga för lokal belastning, d.v.s. tillförsel av näringsämnen. Kustvattenförekomster med stort vattenutbyte kan på denna skala visa liten påverkan i t.ex. klorofyll-koncentrationen och syreförhållanden även om belastningen av näringsämnen från land är stor. Även för denna skala har vi tillgång till observationer av parametrar som indikerar övergödning, dock inte för alla kustvattenförekomster.

I grunda vikar eller sund som är den minsta skalan kan lokala utsläpp, men även utbytet med botten sedimenten spela stor roll i näringsdynamiken. Det är också till denna typ av områden som förekomsten av snabbväxande makroalger kopplas och observationer av snabbväxande makroalger används som indikator för effekter på denna skalnivå. De grunda bottenarna är också viktiga för näringsretentionen och fungerar därför som buffertzoner i transporten av näring från land till hav.

2. Sammanfattning och slutsatser

2.1. Generella slutsatser

Det är viktigt att konstatera att effekterna av övergödning är olika i innerskärgården och i öppna havet och måste också diskuteras utifrån detta faktum. Effekterna av åtgärder mot övergödning på framförallt kustvattenförekomst och vikskala är i högsta grad beroende på vattenomsättningen, d.v.s. systemets förmåga att göra sig av med lokalt tillförd näring (känslighet). Vid åtgärder är det därför viktigt att identifiera om området är känsligt eller okänsligt för övergödning.

- Om målet med reduktionen är att reducera näringsämnen så mycket som möjligt till utsjön - Gör åtgärder där belastningen är störst.
- Om målet är att se effekter av reduktionen i form av t.ex. mindre utbredning av fintrådiga alger – Gör åtgärder i de övergödningssensibla områdena.

Vilket näringsämne som är begränsande för primärproduktionen i havet varierar både i tid och rum. Det är därför viktigt att reducera både kväve och fosfor. Viktigt är också att ha kunskap om i vilken form primärproduktionen sker, d.v.s. om det är planktonblomningar, bottenlevande mikroalger eller fintrådiga makroalger som ger problem.

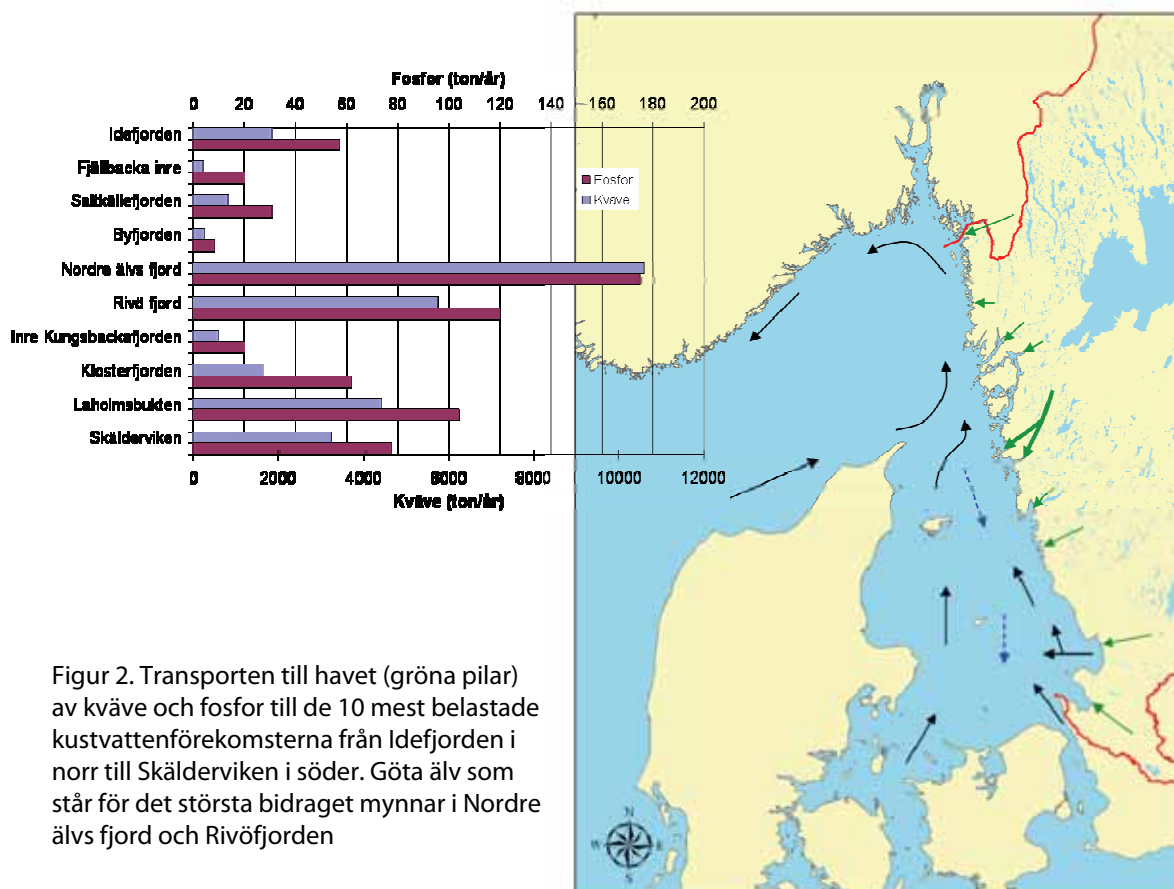
En tydlig variation i näringskoncentrationerna vid både kust- och utsjöstationer på tidsskalan 10 år kan ses i observationer. Variationen kan kopplas till utflödet från Östersjön som påverkar framförallt Kattegatt och orsaken bör utredas vidare.

2.2. Slutsatser om de områden som har högst belastning från land

De kustvattenförekomster som mottar den största näringstransporten från land och har en nettotransport från land till utsjön visas i figur och 2.

Det som karakteriserar näringsbelastningen till västkusten är att den största näringstransporten från land sker till Göteborgsområdet via Göta älv. Näringstransporten från land är betydligt högre i Halland och Skåne än i Bohuslän, men trots det är effekterna av övergödning tydligare i Bohuslänns inre skärgård än längs Hallands och nordvästra Skånes kuststräckor.

En viktig effekt av nederbördssituationen och övergången från sanddominerande jordar i södra delen till lerjordar längre norröver längs kusten är att läckaget av fosfor relativt kväve ökar norrut längs den svenska västkusten .



Figur 2. Transporten till havet (gröna pilar) av kväve och fosfor till de 10 mest belastade kustvattenförekomsterna från Idefjorden i norr till Skälderviken i söder. Göta älv som står för det största bidraget mynnar i Nordre älvs fjord och Rivöfjorden

2.3. Slutsatser om de mest övergödning känsliga områdena

Vi har här valt att använda ett antal indikatorer i kombination för att peka ut känsliga men nödvändigtvis inte högt belastade områden. Indikatorerna har varit, vattnets uppehållstid, djupförhållanden, ytansamlingar av fintrådiga alger, klorofyllhalt i ytvattnet, syrekonzentration i bottenvattnet, och status på bottenlevande djursamhällen. Figur 25, 37, och 46 visar övergödning känsliga kustvattenförekomster längst västkusten.

Generellt kan man peka ut norra Bohuslän och Orust-Tjörn området som de mest känsliga områdena längs västkusten. Det bero på att stora delar av norra Bohuslän utgörs av grundområden med långsam vattenomsättning som medger förhöjda näringskoncentrationer och ansamling av snabbväxande makroalger. Områdena är känsliga för lokal tillförsel, men även den regionala tillgången på näring.

I fjordsystemet innanför Orust och Tjörn finns flera djupa tröskelbassänger med tidvis stagnanta förhållanden och därför dålig syretillgång vid nedbrytning av organiskt material, det bottenlevande djursamhällerna är tydligt påverkade. Orust-Tjörn området är framförallt känsligt för lokal tillförsel av näringsämnen till ytvattnet eftersom uppehållstiden för ytvattnet i delar i fjordsystemet är tillräckligt långt för att tillåta sedimentation av den lokala produktionen till djupvattnet.

I Kattegatt försvårar det skarpa språngskiktet mellan vattenmassorna från Östersjön och Skagerrak syretransport från ytan till djupvattnet och gör stora delar av Kattegatt till ett övergödningssensibelt område. Den lilla volymen djupvatten gör att syret kan ta slut vid längre perioder med lätta vindar och därför dålig ombländning, vilket också påverkar bottenlevande djursamhällen. Området är främst känsligt för den regionala tillgången på näring där näringstillförsel från land men också från Östersjön utgör viktiga bidrag. Vissa kustområden som Kungsbackafjorden utgör speciellt känsliga områden som även påverkas tydligt av lokal tillförsel från land.

2.4. Slutsatser om åtgärder mot övergödning

Källfördelningen av näringstillförseln i våra fallstudieområden (Erlandsson m.fl. 2009) i Bohuslän och Halland visas i figur 47 och 50. Den visar tillsammans med information om läckage från åkermarken (Bilaga A) att:

Det antropogena jordbruksläckaget är stort och måste reduceras.

- Det antropogena läckaget av fosfor från åkermarken är speciellt stort i Bohuslän.
- Det antropogena läckaget av kväve från åkermarken är speciellt stort i Halland-Skåne.

Åtgärder bör vidtas nationellt och internationellt för att minska kvävedepositionen från atmosfären. Den atmosfäriska depositionen på kustvattenförekomster bidrar inte lika mycket procentuellt till belastningen av kväve i Halland och Skåne som i Bohuslän kustvatten men belastningen på Hallands och norra Skånes kustvatten är stor.

Ytterligare åtgärder på punktutsläpp är viktiga främst i känsliga områden på den mindre kustnära skalan.

2.5. Slutsatser om effekter av åtgärder

Den resulterande fördelningen av vilka källor som bidrar mest till reduktionen visar på stora skillnader mellan de olika fallstudieområdena (figur 3-6). Slutsatserna baseras på våra fallstudier (Erlandsson m.fl. 2009).

Det är svårare att reducera kväve än fosfor då en stor del av fosfor är partikulärt bundet och kan fångas upp, medan kvävet måste tas upp av biologin. Med lokalt anpassade åtgärdsprogram i våra fallstudieområden har vi i teorin lyckats reducera 2 % - 24 % av det antropogena kvävet och 10 % - 48 % av den antropogena fosfor. Förslag på åtgärder ges i avsnitt 2.6.

Vi har konstaterat att stora delar av Bohuslän är känsligt för övergödning och att det är tydligt påverkat trots relativt liten näringstillförsel. Bohuslän är glesbefolkat och har ett extensivt jordbruk som trots det läcker mycket näringsämnen, framförallt fosfor. Den glesa befolkningen innebär att reningsverken är små och har därigenom lägre reningskrav, och det innebär att det finns många enskilda avlopp. En stor mängd kväve kan därför reduceras genom förbättringar på reningsverk och enskilda avlopp som ofta ligger i känsliga recipienter (figur 3-4). Fosforrening är även i små reningsverk hög och är därför svår att förbättra ytterligare. Åtgärder

inom jordbruket bidrar generellt mycket eftersom jordbruket står för en stor del av det antropogena läckaget. Åtgärderna inom jordbruket är effektivast för att fånga partikulärt fosfor men våtmarker bidrar med att binda även kväve (figur 3-4).

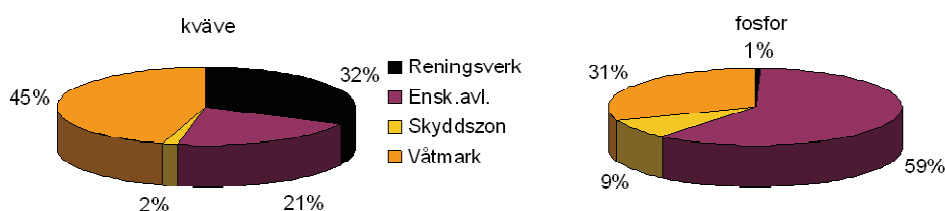
Hallands och nordvästra Skånes kustvatten är mindre känsligt för övergödning, men visar lokala övergödningssymptom. Kuststräckan har en betydligt högre belastning än Bohuslän p.g.a. av stora avrinningsområden som avvattnas till kusten. Befolkningstätheten är högre och jordbruket intensivt. Reningsverken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

Fjällbacka inre skärgård



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

Fjordsystemet innanför Orust och Tjörn



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

Inre Kungsbackafjorden



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

Skälderviken

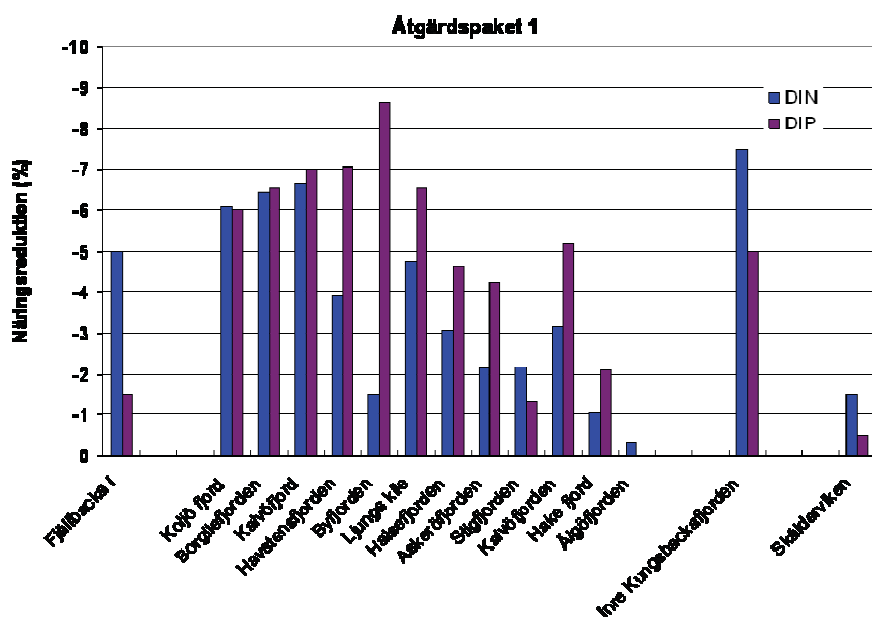


Figur 6. Fördelningen av reduktionen mellan de olika källorna till kväve (vänster) och fosfor (höger). Resultaten visas för åtgärder anpassade till lokala förhållanden i avrinningsområdet till Skälderviken. Reduktionen utgör 2 % och 10 % av den antropogena belastningen för kväve respektive fosfor.

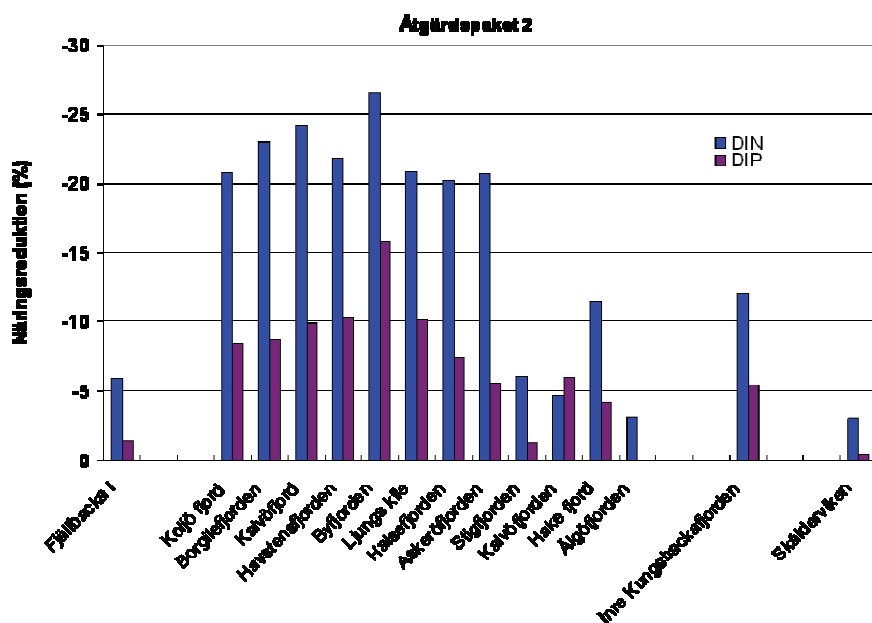
Effekterna på havet av åtgärdspaketet har simulerats med SMHI:s kustzonmodellsystem och visas i figur 7 och 8. Modellen beräknar effekterna på kustvattenförekomstskala och alltså inte vad som sker inne i vikarna som utgör en mindre del av kustvattenförekomsterna och i många fall utgör recipienten där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

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

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



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



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

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

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

Den storskaliga strömcirkulationen i Kattegatt och Skagerrak gör att:

- Näringsläckaget från Bohuskusten bidrar i ringa grad till näringsituationen i öppna Skagerrak, men spelar stor roll i kustområdet.
- Den stora näringstillförseln via Göta älv påverkar Skagerrak och framför allt kustvattnet i Göteborgsområdet och södra Bohuslän.
- Tillförseln från Hallandskusten och Nordvästskåne är visserligen mindre än tillförseln från Danmark, men den ger ett tillskott av näringsämnen både till det svenska kustvattnet och utsjön i Kattegatt.
- Den Jutska strömmen som transporterar vatten från Tyska bukten tillför framförallt en större volym vatten till den Baltiska strömmen längs Bohuskusten. Näringsbidraget är i allmänhet inte så stort eftersom näringen till stor del förbrukas på väg norrut längs den danska västkusten, men vid perioder med höga flöden kan bidraget vara betydande.
- Näringstransporten från Östersjön är viktig för näringsstatusen i Kattegatt, men även för Skagerrakkusten. Åtgärder för att minska övergödningen i Östersjön är därför viktig även för västerhavet.

2.6. Förslag på åtgärder

Åtgärder för att förbättra kunskapsunderlaget

Genomför föreslagna åtgärder i fallstudieområden och koncentrera resurser på åtgärdsarbete till få utpekade områden .

- Mer provtagning (spatial täthet) ger bättre upplösning på informationen och leder automatiskt till möjligheten att jobba på mindre skala. Det gäller både på land och i havsmiljön. Förbättra kunskapsunderlaget i innerskärgården genom övervakningsprogram med provtagning av näringsämnen i innerskärgården.
- Genomför metoden som utvecklats i fallstudierna för ytterligare områden - de som pekats ut som känsliga områden och högt belastade områden.
- Utnyttja de verktyg och metoder som tagits fram i regeringsuppdragen: ”Inventera behovet av att restaurera övergödda havsvikar och kustnära sjöar” (Regeringsuppdrag 51b), projekt kring våtmarker inom regeringsuppdrag 22 och regeringsuppdrag 51c angående enskilda avlopp
- Gör en översyn och analys av övergödningsindikatorer.

- Ta fram ett lättfattligt informationsmaterial som beskriver miljöproblem och möjliga praktiska åtgärder, inklusive skötsel. Rådgivning till jordbrukare som sker inom Greppa Näringen är ett mycket viktigt verktyg för att komma åt läckaget från jordbruket och bör prioriteras. En intensivare tillsyn av jordbruksföretag kan också vara viktig.
- Inför ett nytt program för ersättning av anläggandet av våtmarker, inkl. ”fangedammar”, skyddszoner och förbättring av enskilda avlopp. Kommuner, markägare, jordbruksrådgivare och Länsstyrelsen bör samverka och för administrationen av ersättningar kan erfarenheter hämtas från de s.k. LIP-programmen.
- Inför differentierade bidragssystem för miljöstöden inom jordbruket, för att gynna åtgärder i de områden som läcker mest näringsämnen. Det kan gälla t.ex. fånggrödor och kantzoner.

Åtgärder inriktade på diffust markläckage orsakade av jordbruk och skogsbruk

Den stora avrinningen, som med klimatförändringar troligen kommer att öka ytterligare under höst/vinter, gör att åtgärder som ökar vattnets uppehållstid i naturen är angelägna. Förutsättningarna för ökad retention av fosfor och kväve måste förbättras med åtgärder såsom våtmarker och reglerbar dränering. Markavvattningsföretag bör ses över med målsättning att öka vattnets uppehållstid i såväl skogs- som åkermark.

- Identifiera lämpliga lägen för våtmarker tillsammans med markägare med hänsynstagande till naturliga och legala förutsättningar och halterna av kväve och fosfor i vattendragen.
- Anlägg rätt typ av våtmark. I det Bohusländska landskapet är det svårt att anlägga stora våtmarker. Istället bör man i Bohuslän arbeta med mindre anläggningar typ ”fangedammar” som testats i södra Norge med goda resultat vad gäller reduktion av kväve och fosfor.
- Restaurera vattendrag genom hydromorfologiska åtgärder för att förstärka och återskapa de naturliga vattendragens reningseffekt. I rensade vattendrag har uppehållstiden förkortats och flödes hastigheten ökat vilket leder till en ökad transport av näringsämnen. Ökad transport medför ofta att problemen flyttas nedströms.
- Ställ delvis samma krav på icke tillståndspliktiga djurhållande jordbruk i områden som pekats ut som känsliga som på dem som är tillståndspliktiga enligt Miljöbalken.
- Genomför vallbrott på våren i stället för på hösten. Det ger en reduktion av utlakningsförlusterna. På lerjordar är detta dock inte lika lämpligt då strukturskador uppstår.
- Ställ krav på höst- eller vinterbevuxen åkermark. En del av den höst- eller vinterbevuxna marken utgörs idag av höstsäd och eftersom höstsäden orsakar lika stor utlakning som vårsäd är det tveksamt om den höstsådda arealen bör ingå i höst- eller vinterbevuxen mark.
- En obligatorisk grön zon längs alla vattendrag och diken.

Åtgärder speciellt inriktade på kväve

- Undvik överoptimal kvävegödsling.
- Minska kväveläckaget genom att införa ett generellt förbud att i känsliga områden sprida stallgödsel till höstsäd under perioden 1 augusti till 15 februari och ett stallgödsel förbud på slåttervall under perioden 20 oktober till 15 februari.
- Prioritera myndigheternas tillsyn av stallgödselhanteringen.
- Reducera jordbearbetning vid höstsådd. Genom mindre och grundare bearbetning än vad som normalt förekommer vid odling av höstsäd kan kvävemineriseringen begränsas och mängden utlakningsbart kväve reduceras.

Åtgärder speciellt inriktade på fosfor

- Minska mängden löslig/lättrörlig fosfor på markytan och i matjorden genom att anpassa fosforgödslingen till grödans behov och markens innehåll av fosfor.
- Komplettera en obligatorisk zon på 6 m längs alla vattendrag och sjöar med bredare gräsbevuxna skyddszoner i erosionskänsliga områden. Dessa zoner kan vara längs vattendragen, men vid behov även i vinkel mot vattendragen där den största transporten går. Detta innebär att det ofta är de lokala förutsättningarna som ger höga förluster.
- Genomför ett omfattande program för inrättande av skyddszoner längs vattendrag och sedimentationsfällor i diken och vattendrag i anslutning till åkermark med hög prioritet.
- Kartlägg riskområden för fosforförluster från åkermark. Kartläggning ska syfta till att peka ut områden som både har ett högt innehåll av lättrörlig fosfor och en hög transportpotential. Fosforläckaget varierar stort även på liten skala. Ett stort näringsläckage kan t.ex. bero på tidigare gödslingsstrategi. En av de viktigaste åtgärderna är därför att "finna de områden som" läcker mest fosfor och begränsa dess källfaktorer och transportfaktorer.

Åtgärder inriktade på punktutsläpp - industri, avloppsrening

I många kommuner bedrivs ett ambitiöst arbete för att förbättra reningen av det sanitära avloppsvattnet från såväl tätorter som glesbygd. Många kommuner har väl fungerande rening för både fosfor och kväve framför allt på de stora reningsverken, men det finns fortfarande åtgärder kvar att genomföra.

- Initiera en analys av behovet av kompletterande rening vid mindre kommunala reningsverk (< 10 000 pe) och industrier med utsläpp av kväve till känsliga recipienter. En sådan analys bör utgöra grund för de villkor som sätts vid anläggningarnas omprövningar enligt Miljöbalken
- De enskilda avloppen svarar för en mindre men viktig del av näringstillförseln då utsläppen ofta sker i grunda känsliga områden. Bidrag

till att förbättra enskilda avlopp bör ges till de sämsta avloppen och till enskilda avlopp i prioriterade känsliga områden.

- Inventering av enskilda avlopp är viktig och bör göras främst i utpekade känsliga områden och där avloppen antas vara sämst.
- Behandla tätorternas dagvatten innan det når recipienten. I vissa kustvattenförekomster med stor andel tätort i det tillrinnande avrinningsområdet är dagvatten en betydande källa till framförallt fosfor men även för kväve.
- Inför slutna cirkulationssystem för bevattning av växthusodlingar. Det totala läckaget av näringsämnen för denna verksamhet anses dock litet i jämförelse med spannmål och potatisodling. Växthusanläggningar finns framförallt i Halland och Skåne.

3. Metodik

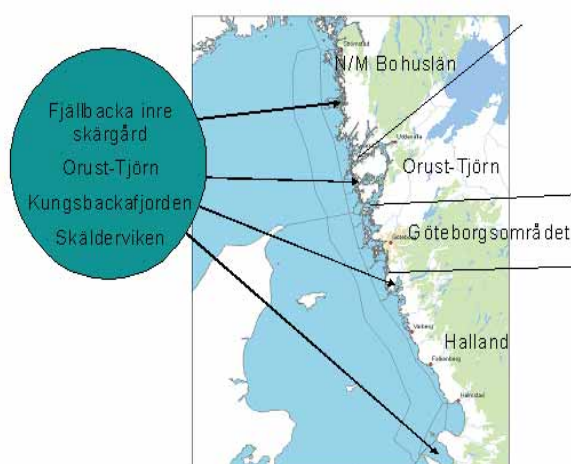
3.1. Skalor

I projektet ”Finn de områden som göder havet mest” arbetar vi med tre skalindelningar av havet (se figur 1); 1) Havsbassäng d.v.s. Kattegat och Skagerrak, som är den största skalan. 2) Kustvattenförekomst, d.v.s. de efter morfologin indelade bassängerna längs kusten. Dessa är 109 stycken och är av olika karaktär. 3) Delar av kustvattenförekomst, d.v.s.. vikar och innestängda delar av kustvattenförekomster.

Indelningen är inte bara efter storleksordning utan dynamiken och problemställningarna skiljer sig åt mellan de olika skalorna. Föreslagna åtgärder måste därmed anpassas för att få avsedd effekt.

3.2. Fallstudier

För att studera olika åtgärder mot näringstransporter till havet och åtgärdernas effekter har vi valt ut fyra fallstudieområden. Vi har delat upp kuststräckan från den norska gränsen t.o.m. Skälderviken i söder i fyra områden utifrån avrinningsområdenas och kuststräckornas karaktär: 1) Norra/Mellersta Bohuslän, 2) Södra Bohuslän, 3) Norra Halland, och 4) Södra Halland/Nordvästra Skåne. Fyra fallstudieområden är utvalda i dessa områden (figur 9): 1) Fjällbacka inre skärgård, 2) Fjordarna innanför Orust och Tjörn 3) Kungsbackafjorden, och 4) Skälderviken. Fallstudierna innefattar kustbassängerna och dess avrinningsområden. Fallstudierna är tänkta att representera tillhörande områden. Kriterierna för val av fallstudieområden är att tillförseln av näringsämnen från land är relativt stort, d.v.s. att bassängerna innefattas bland de 10 mest belastade längs västkusten. För vissa av områdena har kriteriet även varit att området är känsligt för tillförsel av näringsämnen.



Figur 9. De fyra delområdena i studien och tillhörande fallstudieområden.

Kväve- och fosfortransporten till Västerhavet från hela Göta Älvs avrinningsområde har tidigare i detalj studerats av Institutionen för miljöanalys på SLU i Sonesten m.fl. 2004). Detta område är därför inte utvalt som fallstudieområde.

För fallstudieområdena har vi utarbetat underlag för åtgärder baserat på den nuvarande belastningen (2006) och bedömt vilka åtgärder som är möjliga att vidta för att minska belastningen från land till kustbassängerna. Åtgärdspaketets sammansättning har baserats på bedömningar av vilka belastningsminskningar som kan göras inom de närmaste åren. Sådana bedömningar har gjorts med hjälp av kommunintervjuer, tillgängliga åkerarealer för våtmarker och skyddszoner och andra åtgärder inom jordbruket, möjlig förbättring av enskilda avlopp, utbyggnad av kväverening på kommunala avloppsreningsverk, och ev. förändrade utsläpp från industrier.

3.3. Belastning

För att peka ut de områden som göder havet mest använder vi belastningsberäkningar gjorda med SMHI:s kustzonsmodellsystem, som finns beskrivet mer utförligt i fallstudierapporten (Erlandsson m. fl. 2009). Belastningarna är beräknade för år 2006.

3.4. Övergödning känsligt kustområde

Vi använder ett antal indikatorer för att peka ut de mest övergödning känsliga områdena. Flera av dessa indikerar snarare en effekt av näringstillförsel och inte nödvändigtvis hur känsligt området är. Det är därför viktigt att använda indikatorer i kombination för att kunna säkerställa områdets känslighet. Ett område kan vara känsligt med avseende på ytvatten och/eller djupvatten.

Indikatorerna som använts för ytvattnet är vattnets uppehållstid, djupförhållanden, ytansamlingar av snabbväxande makroalger och klorofyllhalt i ytvattnet. Indikatorerna som använts för djupvattnet är vattnets uppehållstid, syrekonzentration i djupvattnet och status på bottenlevande djursamhällen.

Upphållstiden för ytvattnet i ett område är viktig för påverkan av lokal tillförsel av näringsämnen. En ”lång” uppehållstid innebär att näringsämnena tas upp lokalt och bidrar till lokalt förhöjd primärproduktion, exempelvis snabbväxande makroalger och/eller växtplankton. I detta fall är det ”lång” i förhållande till primärproduktionens näringsupptag, och tidsskalan är timmar till några dagar. Om primärproduktionen sedimenterar lokalt eller längre från källan avgörs av uppehållstiden för vattnet och tiden det tar att sedimentera, vilket beror på sedimentationshastighet och djup.

Enligt den ”klassiska övergödningmodellen” leder en ökad tillgång av näringsämnen till en ökad total primärproduktion (av t.ex. växtplankton) och en ökad mängd organiskt material. I grunda vikar ökar normalt inte den totala primärproduktionen vid ökad näringsbelastning. Istället sker ett skifte från en dominans av bentiska till en dominans av pelagiala primärproducenter såsom plankton och flytande makroalger (Borum & Sand-Jensen 1996). Detta skifte kan medföra att den långsiktiga förmågan hos grunda vikar att ”filtrera bort” närsalter blir mindre, och en större andel närsalter exporteras till djupare områden där den

pelagiska primärproduktionen därmed ökar. Den optimala molkvoten mellan oorganiskt kväve och fosfor (DIN/DIP) för tillväxt av marina makroalger är betydligt högre (30) än för pelagiska plankton (16) (Lobban et al. 1985, Barnes & Mann 1991). Snabbväxande makroalger gynnas därför av en högre kvot än 16 medan pelagiska plankton blir fosforbegränsade. I grunda vikar på svenska västkusten är lösdrivande grönalgs mattor vanligt förekommande under sommarhalvåret. Det faktum att förekomsten av algmattorna är positivt korrelerat till mängden organiskt material lagrat i sedimentet (Pihl et al. 1999) pekar på ett möjligt samband mellan algtillväxt och sedimentet som en självgenererande näringskälla även om det i vissa områden visar sig att det krävs en tillförsel av näring för att underhålla tillväxten av algerna (Engelsen, 2008). Snabbväxande ettåriga makroalger har ett snabbt upptag av näringsämnen och därmed snabbare tillväxt än både fleråriga makroalgsarter och ålgräs (Wallentinus, 1984) i områden med höga halter av närsalter (Short and Wyllie-Echeverria, 1996). Dessa opportunistiska algsarter konkurrerar därmed ut mer långsam växande arter.

Att tillförsel av näringsämnen från sedimenten har visat sig viktigt för snabbväxande makroalger i många områden gör att djupförhållandet också kan användas som en indikator för övergödningsskänslighet. Sedimentsystemet i den grunda viken är ofta netto-autotroft (d.v.s. syreproduktion > syrekonsumtion) dagtid och ibland även på dygnsbasis. Sedimentsystemets trofistatus spelar en avgörande roll för om grunda mjukbottnar via bentiska flöden fungerar som sänka för näringsämnen (nettotransport från ovanliggande vatten till sedimentet) eller källa (nettotransport från sedimentet till ovanliggande vatten).

Djupvattnet under tröskelnivån i en fjord kan bli stagnant under kortare eller längre perioder. Under den tiden tillförs inget nytt vatten och därför mycket små mängder syre. Syrekoncentrationen minskar då i djupvattnet p.g.a. nedbrytning av organiskt material. Om uppehållstiden för djupvattnet i en tröskelfjord är ”lång”, så att syretillgången i jämförelse syreförbrukningen p.g.a. nedbrytning är liten uppstår perioder med kritiska syrekoncentrationer (<2ml O₂/l) för djurlivet. Djupet till tröskeln avgör hur lång tid det tar för den lokala produktionen att sedimentera ner i djupvattnet. Om uppehållstiden för vattnet över tröskeln är ”kort” i jämförelse med sedimentationstiden för lokalt producerat organiskt material, så kommer det mesta organiska materialet som tillförs djupvattnet istället från kustvattnet. Fjordens djupvatten är då mer känsligt för regional än lokal övergödning (Aure och Stigebrandt 1989, Erlandsson et al. 2006).

Karaktären på vattenutbytet bestämmer också om det finns någon lokal koppling av näringsämnen från djupvattnet till ytvattnet och tillbaka till djupvattnet. En lång stagnationsperiod t.ex. ett år ger förhöjda koncentrationer av näringsämnen (framförallt fosfor) i djupvattnet. Vid djupvattenutbyte lyfts det näringsrika vattnet upp och bidrar då till den lokala primärproduktionen. Om nu uppehållstiden för ytvattnet är lång (några månader) så är det stor risk att mycket av det organiska materialet som producerats återsedimenterar i djupvattnet. I detta fall finns alltså två viktiga lokala källor som påverkar primärproduktionen och syresituationen i djupvattnet; näringstillförsel från land och djupvatten.

Bedömning av status på bottenlevande djursamhällen har gjorts bl.a. med hjälp av fotografering av sedimentprofiler i fjordarna Gullmarn, Koljö fjord, Havstensfjord, i Skagerrak, i områdena Laholmsbukten och Skälderviken i Kattegatt (Magnusson 2009).

3.5. Observationer

Vi har i vårt arbete med att identifiera ”de områden som göder havet” använt observationer från lokala och regionala kustkontrollprogram längs Bohus- och Hallandskusten (Figur 10) och SMHI:s utsjökontrollprogram. Mätprogrammen startade under 1980- och 1990-talen och innehåller hydrografiska parametrar som salt, temperatur, klorofyllkoncentrationer, koncentrationer av partikulärt material i vattenmassan, siktdjup osv. Parametrarna som används i vår analys utgörs av de indikatorer vi använder för att identifiera effekter av tillförsel av näring: vinterkoncentrationer av oorganiskt kväve (DIN) och fosfor (DIP), klorofyll- och syrekoncentrationer, och mängden partikulärt bundet kol (POC). Med hjälp av dessa data beskriver vi situationen i de olika bassängerna.

För att beskriva vinterpoolen av näring använder vi medelvärdet av observationer från december och januari för att minimera effekten av tidiga och sena planktonblomningar som reducerar näringskoncentrationen. För att beskriva sommarsituationen med klorofyllobservationer använder vi juni till augusti observationer. Det görs för att undvika vårbloomingen som bara uppmäts under vissa år p.g.a. den korta period som den pågår, och därför skulle bidra till ett svårtolkat medelvärde. Observationer av partikulärt organiskt material (POC) över och under spångskiktet definieras som över om de är observerade vid 5 m djup, och under om de är observerade vid 20 m djup och salthalten vid dessa tillfällen är över 30 psu.

I Bohuskustens Vattenvårdsförbund (BVVF) regi genomförs årligen, sedan 1998, ett kontrollprogram för att via flygfotograferingar kartlägga förekomst och utbredning av snabbväxande makroalger i grunda havsvikar (0-1 m). Syftet med kontrollprogrammet är att genom analys av utbredningen av fintrådiga makroalger spegla olika skärgårdsområdets känslighet för belastning av näringsämnen. Utifrån analyserad data har det varit möjligt att få fram ett underlag för identifiering av områden påverkade av en övergödningssituation ner på vattenförekomst- och i flera fall bra dataunderlag på viknivå.

Det nationella miljöövervakningsprogrammet flodmynningar som samordnas av SLU* inkluderar tio större vattendrag inklusive Göta älv i Västerhavets vattendistrikt. Regionala miljöövervakningsprogram i samarbete mellan västkustkommuner och Länsstyrelserna täcker sedan ytterligare ett stort antal vattendrag. Samtliga provtas 12 gånger per år, parametrarna varierar men förutom totalkväve och totalfosfor mäts oorganiska fosfor- och kvävefraktioner i de stora vattendragen (flodmynningar) samt många av de mindre vattendragen. Mätserien för flodmynningar sträcker sig ofta från början av 70-talet medan den regionala miljöövervakningen ofta startade på slutet av åttiotalet. Vattenkvalitetsundersökningar i de mindre kustmynnande vattendragen görs inom ett antal olika miljöövervakningsprogram längs kusten.

* SLU- Sveriges Lantbruksuniversitet



Figur 10. Övervakningsprogram för hydrografi i Västerhavsdistriktet.

3.6. Modellberäkningar

I våra fallstudier har vi använt SMED^{*}-data som gör det möjligt att få en källfördelning av fosfor och kvävetillförseln till havet från PLC5 områden och enskilda delavrinningsområden. Grunden är det arbete som SMED bedrivit för Sveriges underlag till HELCOMs 5:e Pollution Load Compilation (PLC5). I Naturvårdsverket (2006) har metodiken för näringsbelastningen från land redovisats. I kustzonsmodellsystemet har de kustnära PLC5-områdena delats i mindre delar för att näringstransporten till varje havsområde skall kunna beräknas.

I våra fallstudier (Erlandsson m.fl. 2009) har vi även använt oss av SMHI:s kustzonmodellsystem för vattenkvalitetsberäkningar, HOME Vatten. HOME Vatten är ett interaktivt modellsystem för mark, sjöar, vattendrag och kustvatten och är speciellt anpassat till att vara ett beräkningssystem för vattenförvaltningen. Kustbassängernas (kustvattenförekomsterna) antal från Idefjorden i norr till Skälderviken i söder är 109 i denna version. HOME Vatten beräknar näringsbelastningen från land på de olika kustbassängerna och belastningens effekter på kustbassängernas vattenkvalitet i form av näringskoncentration och klorofyllkoncentrationer m.m. Vi får även källfördelning av näringstillförseln och alltså information om vilka sektorer (åkermark, skog, övrig mark, reningsverk, enskilda avlopp, och industri etc.) som bidrar mest till att göda våra hav. Modellen används även för att simulera åtgärds paketets effekt på vattenkvalitén i skärgården. Flera olika simuleringar för vart och ett av de fyra fallstudieområdena har genomförts (Erlandsson m.fl. 2009).

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

För en mer utförlig beskrivning av modellberäkningar och validering av modellen hänvisar vi till fallstudierapporten Erlandsson m.fl. (2009).

* SMED- Svenska MiljöEmissionsData, se fallstudierapporten

4. Skagerrak och Kattegatt

Beskrivning och analyser i detta avsnitt är gjorda på den största skalnivån; Havsbasäng (Utsjön).

4.1. Områdesbeskrivning

Cirkulation och närsalter

Kattegatts ytvatten utgörs till stor del av Östersjövatten som transporteras via Öresund och Belthaven. Under passagen till Kattegatt genom framförallt Stora och Lilla Belt tillförs näringsämnen från Danmark. Genom vindomblandning ökar ytvattnet i volym och salthalt på sin väg norrut. Inblandningen ger också en transport av näringsämnen från vattnet under salthaltssprångskiktet. Salthaltssprångskiktet separerar det mer näringsrika djupvattnet från ytvattnet. Djupvattnet i Kattegatt består av Skagerrakvattnet och har en uppehållstid på 1-4 månader (Stigebrandt 1983, Andersson och Rydberg 1988,1993). Den Baltiska strömmen som strömmar norrut längs västkusten utgörs till stor del av det lågsalina ytvattnet i Kattegatt (figur 11). Strömmen är dock i allmänhet betydligt svagare i Kattegatt än i Skagerrak p.g.a. Skagerrak-Kattegatt fronten som uppkommer då det lågsalina vattnet p.g.a. jordrotationen pressas mot västkusten. Ytvattnet i Kattegatt har lägre salthalt än ytvattnet i Skagerrak och de två vattenmassorna bildar en skarp front. Positionen varierar men den sträcker sig generellt från Skagen och nordväst mot den svenska västkusten. Fronten är mestadels belägen norr om Läsö (Stigebrandt 1983, Andersson och Rydberg 1993), och positionen styrs av flödet från Östersjön och vindförhållanden.



Figur 11. Nettocirkulationen i Skagerrak och Kattegatt. i ytvattnet (svarta pilar) och djupvattnet (blå stäckade pilar).

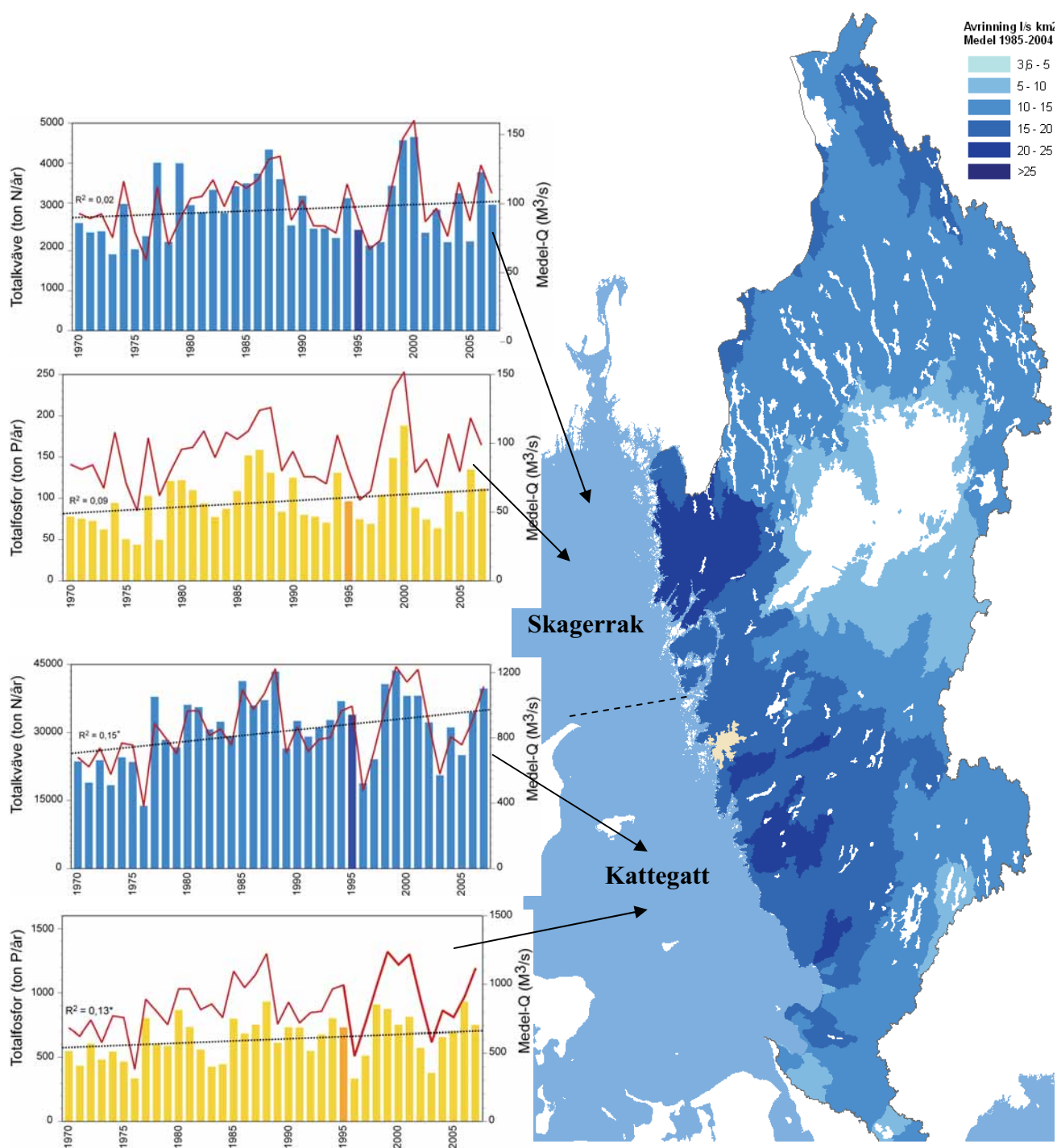
Inblandning av mer högsalint vatten från djup under språngskiktet i Skagerrak innebär ytterligare ökad volym och salthalt över språngskiktet. Efter att ha svängt västerut längs den norska kusten förstärkt av färskvattenbidraget från Oslofjorden övergår den Baltiska strömmen till att kallas den Norska kustströmmen (figur 11). Medelvolymen då den Norska kustströmmen lämnar Skagerrak är ca 500 000 m³/s i jämförelse med 55 000 m³/s som lämnar Kattegatt (Andersson och Rydberg 1993, Rydberg et al. 1996). Djupvattnet i Skagerrak består av vatten från Nordsjön och Atlanten. Språngskiktet ligger på cirka 15 m djup längst västkusten men varierar i vertikalled p.g.a. väderleksförhållanden. Språngskiktets vertikala rörelser dominerar vattenutbytet mellan kustvattnet och innerskärgårdens mer inestängda vatten (Aure et al. 1996, Björk et al. 2000). Tidvattnet är svagt längs den svenska kusten.

Över 50% av näringstillförseln till Kattegatt kommer från Nordsjön via djupvattnet (Rydberg et al. 1990). Vid ett antal tillfällen har man kunnat koppla ovanligt höga koncentrationer av näringsämnen i Kattegatt och vid den svenska västkusten till det näringsrika vattnet i södra Nordsjön (Tyska bukten). Olika studier med motsatta resultat har undersökt om vattnet från södra Nordsjön är en viktig del av näringstillförseln i Kattegatt. I en studie av Rydberg et al. (1996) kommer man fram till att det näringsrika vattnet från södra Nordsjön (Tyska bukten) visserligen bidrar till näringstransporten till Skagerrak men att det normalt inte når Kattegatt eller den svenska västkusten i Skagerrak.

4.2. Närsaltsutvecklingen från land och i våra hav

Tillförsel från land och atmosfär

Många åtgärder inom jordbruket för att minska det diffusa läckaget har vidtagits under 1990-talet för att uppnå målen inom EU:s ramdirektiv för vatten och nitrat direktivet. Åtgärder inom jordbruket är t.ex. anläggande av våtmarker och skyddszoner, regler för gödselspridning, täckning av gödselvårdsanläggningar osv. Trots alla åtgärder har närsaltsbelastningen via vattendrag från land inte minskat under de 40-tal år som miljöövervakningen har funnits (Sonesten 2007, 2008). Tillförseln av näringsämnen från land till hav ökar istället något framför allt när det gäller kväve men även för fosfor (figur 12). Koncentrationen i vattendragen har dock i många fall stagnerat eller t.o.m. minskat. Tillrinningen till Skagerrak och Kattegatt (1970-2005) har varierat med en högre tillrinning under mitten av 1980-talet, i slutet av 1990-talet och början av 2000-talet (figur 12). En ökad trend i avrinningen från land under perioden kan också ses, vilken delvis förklarar de uteblivna effekterna av åtgärderna inom jordbruket (Havet 2007, 2008). I Rydberg 2008 visas transporten av näringsämnen i Göta älv (vid Alelyckan) och minskningar i både de oorganiska fraktionerna av kväve och totalkväve kan ses framförallt från tidigt 2000-tal. Nederbörden och därigenom avrinningen (figur 12) är relativt hög längst västkusten jämfört med övriga landet (bortsett fjällen). Det gäller framför allt i Bohuslän och det är en av förklaringarna till det stora markläckaget (kg/ha) av framförallt fosfor i Bohuslän (se avsnitt 5.2).



Figur 12. Kartan visar medelavrinningen (l/s) i Västsverige under åren 1985-2004. Stapeldiagrammen visar flödet och den årliga kväve- och fosforbelastningen via vattendrag i Sverige på Skagerrak och Kattegatt (ur Havet 2008).

Det atmosfäriska nedfallen av näringsämnen domineras helt av kväve. Fosfortillförseln är liten. En stor del av nedfallet kommer från omgivande länder och internationell sjöfart (Naturvårdsverket, 2007). På grund av dominerande vindriktning från syd till väst som påverkar både transportriktning och nederbörds mängder så är det atmosfäriska nedfallen ungefär dubbelt så stort i sydvästra Sverige (8,8 kg/ha under 2004/2005) jämfört med östligare delar av landet. Trenden är minskande för både nitratkväve och ammoniumkväve som har minskat med 23 % respektive 34 % i snitt för hela landet sedan 1990 (Naturvårdsverket, 2007). Minskningen är störst för sydvästra delen av landet.

Punktkällor

Reningen i kommunala reningsverk har successivt förbättrats och utsläppen minskat, se tabell 1. Den genomsnittliga kvävereningen närmar sig 60 %, men än återstår flera mindre kommunala reningsverk med en reningsgrad på 30-40 % för kväve.

Tabell 1. Direktutsläpp från punktkällor av kväve och fosfor till havet år 1995 och 2005, exklusive fiskodling (Källa: SMED och TRK) Ingen övergödning

	Punktutsläpp (Reningsverk och Industri)			
	Kväve (ton/år)		Fosfor (ton/år)	
Havsbasäng	1995	2005	1995	2005
Kattegatt	3 200	1 700	350	280
Skagerrak	700	400	40	20
Summa	3 900	2 100	390	300

Reningsgraden för fosfor i större kommunala reningsverk är generellt högre (95 %-98 %), men många mindre reningsverk uppnår dessutom en reningsgrad för fosfor på ca 90 %. Utsläppen av kväve till Kattegatt från dessa reningsverk och industrier var uppe i 3 200 ton N år 1995. År 2005 kan vi konstatera en halvering av kväveutsläppen, och även fosforutsläppen visar en tydlig minskning (tabell 1). Avloppsreningsverket Ryaverket vid Göta Älvs mynning är tillsammans med Väröbruk i Halland de absolut största utsläppskällorna. Ryaverket byggdes om för kvävereduktion under mitten av 1990-talet, och utsläppen för 1995 är därför något förhöjda p.g.a. omfattande bräddningar under ombyggnaden. Motsvarande minskning för Kattegatt syns också för Skagerrak (tabell 1).

I början av 1990 infördes föreskrifter om kontroll av ledningsnät vilket medförde en ökad kunskap om bräddningarnas storlek från avloppsledningsnät. Det finns emellertid fortfarande brister när det gäller kommunernas kontroll och redovisning om dessa utsläpp. Vissa förbättringar har vidtagits på avloppsledningsnätet men det är svårt att konstatera någon tydlig minskning av utsläppen bl.a. beroende på redovisningen. Det finns ett stort behov att förnya ledningsnäten och vidta åtgärder för att minska bräddningar bl.a. genom att koppla bort dagvattenpåverkan. Utsläpp av obehandlat avloppsvatten kan innebära ett stort tillskott av fosfor och kväve till havet. Avloppsledningsnätet i Göteborg släppte under år 2006 ut drygt 7 ton fosfor och drygt 45 ton kväve (5 ton fosfor och 32 ton kväve år 2007). Vid utsläpp till ett mindre vattendrag eller vik med dålig vattenomsättning kan även en relativt liten

mängd innebära ett lokalt övergödningproblem inklusive störningar för vattenorganismers livsmiljö.

Hur har havsvattnet påverkats

Utsläppen till Skagerrak och Kattegatt från reningsverk och industrier har alltså halverats från 1995 och framåt som visas ovan. Carlsten et al. 2006 visar att reduktionen i tillförsel av näringsämnen från reningsverk i Köpenhamn och andra större danska städer har fått effekt i Danmarks kustvatten som nu visar lägre koncentrationer av näringsämnen i ytvattnet. Den ökade reningsgraden i Ryaverken i Göteborg (Göta älv) under 1980-talet (fosfor) och 1990-talet (kväve) visar effekter på koncentrationen (ammonium och totalfosfor) i ytvattnet i området utanför Göteborg (Rydberg 2008).

Trendanalyser av vinterpolen av näringsämnen i Skagerrak och Kattegatt indikerar minskande koncentrationer i våra kusthav under perioden 1975-2005 (SMHI 2006). Både totalfosfor och fosfat visar på nedåtgående trender. Även totalkväve och ammonium visar nedåtgående trender men för nitrat och nitrit syns ingen tydlig förändring.

Indikatorer på övergödning är exempelvis primärproduktion, klorofyllhalter, siktdjup, syre koncentrationen i djupvattnet, och status på bottenlevande djursamhällen bl.a. mätt som BQI*. Primärproduktionen i Kattegatt ökade under 1950-1980, men minskar sedan (Rydberg et al. 2006). Klorofyllhalterna i hela Kattegatt och i Skagerraks kustvatten tycks minska, men trenderna är inte säkerställda (SMHI 2007). Koncentrationen av klorofyll anses dock vara på en fortsatt hög nivå. Siktdjupsmätningar i samma områden visar en ökande trend vilket stöder resultatet med en minskad mängd klorofyll i ytvattnet (SMHI 2007). Syreobservationerna vid botten både vid kusten och i utsjön visar dock på minskade syrekoncentrationer. Erlandsson et al. 2006 beräknar att 40 % av den minskande syretillgången i djupvattnet i Gullmarsfjorden beror på att djupvattenutbytet i fjorden sker senare på året, och kan alltså kopplas till variationer i klimatet. Övriga 60 % kopplas till en ökad syrekonsumtion.

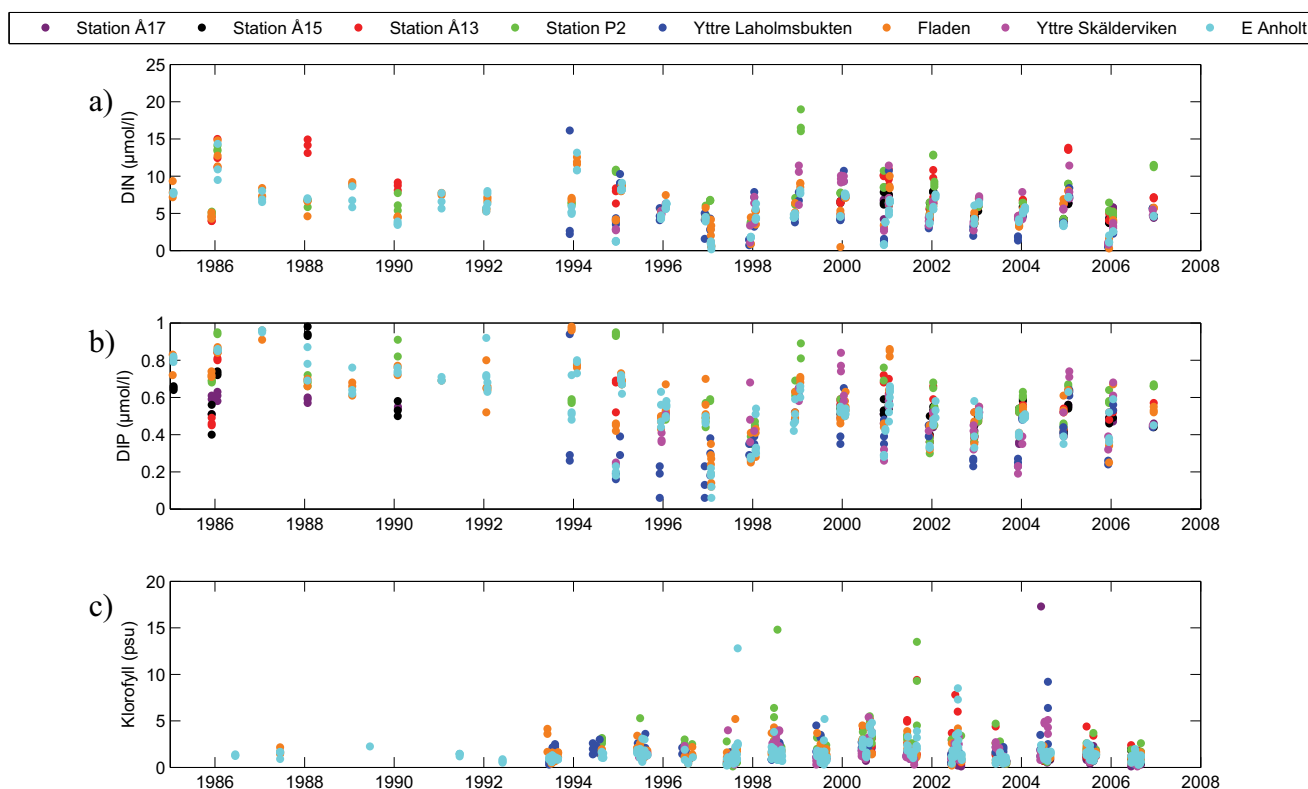
Syreproblem i öppna Kattegatt är också starkt kopplat till väderlekssituationen. Medeldjupet i Kattegatt är ca 20 m. Vilket ger en mycket liten volym djupvatten och därigenom även lite syre för nedbrytning av organiskt material. Längre högtrycksperioder med lätta vindar förhindrar tillförsel av syre från ytvattnet och syrebrist kan uppstå. Dessa problem finns också vid den öppna hallandskusten. Värdet på BQI i ett område anses vara beroende på övergödning i kombination med syreförhållandet vilket påverkas av vattenutbytet (Rosenberg et al. 1996). Statusen på den bentiska miljön i Kattegatt klassificeras som god till dålig i utsjön och öppna kustområden (Rosenberg et al. 2004). Statusen på den bentiska miljön i Skagerrak klassificeras som god i utsjön och öppna kustområden i Skagerrak (Magnusson och Rosenberg 2005, även i SMHI 2007). Om vi väger samman faktorerna som diskuterats ovan pekar resultaten mot att miljötillståndet i utsjön förbättrats under senare år.

* BQI-Benthic Quality Index

4.3. Källfördelning

Hur varierar bidragen från de olika källorna

Området väster om Läsö är grunt och djupvattnet som tillförs Kattegatt strömmar därför öster om Läsö. Inflödet av djupvatten motsvarar teoretiskt vindinblandningen av vattnet under språngskiktet till ytvattnet i Kattegatt. Inflödet av djupvatten kan därför beräknas (Stigebrandt 1983, Rydberg och Sundberg 1984). Djupvatteninflödet har även uppskattats från observationer och stämmer väl överens med beräkningar (Andersson och Rydberg 1993).



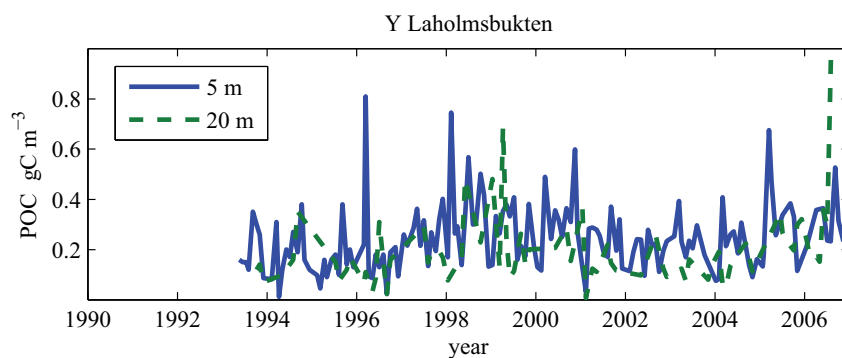
Figur 13. Tidsutvecklingen för koncentrationen av a) oorganiskt kväve, DIN (dec-jan), b) oorganiskt fosfor, DIP (dec-jan), och c) klorofyll (juni-aug) vid ett antal utsjöstationer längs skagerrakkusten och hallandskusten. Figuren visar observationer på 0-10 meters djup.

Poolen av näringsämnen är som störst under vintern och minskar under sommaren. Vårblomningen i Västerhavet startar tidigt i februari till april. Vinterpoolen av näringsämnen indikerar därför tillgången på näring under vårblomningen. Under vintern är landtillförseln den största källan till näringsämnen i Kattegatt, men under tidig vår ökar importen från Skagerrak via djupvattnet och denna tillförsel dominerar under den produktiva delen av året för fosfor, tydligast gäller det den oorganiska delen av fosfor (Rasmussen et al. 2003). Kattegatt är en exportör av kväve under större delen av året, d.v.s. mer transporteras norrut via den Baltiska strömmen än vad som tillförs via djupvattnet och från Östersjön. Landtransporten dominerar under hela året, med ett jämförbart bidrag från atmosfären under sommarmånaderna. Tillförseln från land, djupvattnet, och atmosfären bidrar inte

med tillräckligt med näringsämnen för primärproduktionen. Det tyder på att kopplingen mellan de bentiska processerna och vattenmassan är stark. Sedimentet är en näringsränna under våren och sommaren då en del av näringen fastläggs men bidrar efterhand som källa under sensommaren och vintern då återcirkulationen av näringsämnen bidrar till näringstillförseln (Rasmussen et al. 2003). Primärproduktionen i Kattegatt sker ovan i och nedan salthaltssprångskiktet (Richardsson & Christoffersson 1991).

Tillgången på näringsämnen i Kattegatt har varierat över tid, med en tydlig förhöjning i fosforpoolen under 1980-talet jämfört med 1970-talet och 1990-talet (Rasmussen och Gustafsson 2003). Kvävetillgången som är starkare kopplad till färskvattentillförseln har varierat mer. En nordgående transport av både totalkväve och totalfosfor från Östersjön pågick under 1970-talet till 1990-talet, men med ett uttalat maximum under 1980-talet. En import av både oorganiskt fosfor och kväve till från Skagerrak och vidare in i Bälthaven via Kattegatt pågick under 1970-talet. Under 1980-talet exporterade istället Bälthaven och Kattegatt näringsämnen till Skagerrak. Det ändrades igen under 1990-talet då importen av organiskt fosfor från Skagerrak och vidare in i Östersjön återställdes. (Rasmussen och Gustafsson 2003). Tyvärr finns inte någon analys om förhållandena under 2000-talet.

I figur 13 visas vinterkoncentrationer för oorganiskt kväve (DIN) och oorganiskt fosfor (DIP) för de utsjö- och öppna kuststationer som finns med i de nationella och regionala övervakningsprogrammen. En tydlig variation i näringskoncentrationen syns med en period på ca 7 år. Framförallt gäller det för data fr.o.m 1994, då frekvensen och antal stationer ökade. Figurerna speglar grovt diskussionen ovan med sjunkande koncentrationer under 1990-talet. Förändringarna vid stationerna i Kattegatt syns också i Skagerrak vid framförallt Å13 och P2 (se stationskartan i figur 10) närmast kusten, men kan möjligen också skönjas vid de två yttre stationerna Å17 och Å15. De få observationerna gör det dock svårt att fastställa att det är så.



Figur 14. Koncentrationen av partikulärt organiskt material, POC vid station Yttre Laholmsbukten. Observationer över salthaltssprångskiktet på 5 m djup (blå linje) och under salthaltssprångskiktet på 20 m djup (grön streckad linje).

Vi ser också ökade koncentrationer under slutet av 1990-talet och i början av 2000-talet som minskar igen i mitten av 2000-talet. Om man jämför tillförseln av näringsämnen med transporten av näring från land och variationen i färskvattentillförsel (figur 12) ser man en viss koppling. Även transportererna av DIN och DIP från Östersjön som diskuteras ovan kan vara orsaken. En tydlig nedgång i mängden fosfor i Egentliga Östersjön under 1990-talet som visas i

Stigebrandt et al. (2008) kan utgöra en viktig del av förklaringen till lägre fosforkoncentrationer i framförallt Kattegatt men även längs Skagerrakkusten. Mer forskning behövs för att reda ut orsaken till variationerna i figur 13.

Variationen i näringsämnen tycks också speglas i mängden partikulärt organiskt material (POC) vid de yttre kuststationerna i Halland; Nidingen, Värö, och Yttre Laholmsbukten (figur 14). Mängden organiskt material påverkar i sin tur syreförhållandena i Kattegatt.

Enligt SMHI (Andersson och Andersson 2006) finns en signifikant minskande trend i fosfatinnehållet i ytvattnet i Skagerrak (0-10 m) och en icke signifikant minskande trend för DIN (för 1976-2005). En stor variation i vintervärdena som vi konstaterat ovan innebär att trenderna blir osäkra och mer dataunderlag (längre tidserier) för att säkerställa trenderna behövs troligen. I SMHI:s dataunderlag för trendanalyser för Skagerrak ingår ett antal utsjö- och kuststationer.

4.4. Vilka källor påverkar mest

Göta älv mynnar i norra Kattegatt men bidrar främst till Skagerrak på grund av den Baltiska strömmen. Till Kattegatt, Öresund och Bälthavet tillförs näringsämnen från Sverige, Danmark, och Tyskland, det största bidraget kommer ifrån Danmark (N-62 %, P-74 %) (Carlsten et al. 2006). Till hela Kattegatt-Skagerrak området är fördelningen förhållandevis lika mellan Norge (36 000 ton kväve/år, 1000 ton fosfor/år), Sverige (43 000 ton kväve/år, 1000 ton fosfor/år), och Danmark (41 000 ton kväve/år, 1000 ton fosfor/år) enligt Skagerrak-Kattegattmodellen (SMHI 2007). Inom projektet Forum Skagerrak II gjordes ett antal simuleringar med samma modell, där närsaltstillförseln från de tre länderna reduceras med 50 % och tillförseln från Nordsjön och Östersjön reduceras med 10 %. I dessa simuleringar är det danska bidraget endast en tiondel av det svenska och norska vilket inte stämmer, men resultaten ger ändå en fingervisning om effekterna av en tydlig reduktion av närsalter. Simuleringarna visar att det norska bidraget påverkar den norska sydkusten och Osloområdet men även den norra delen av Bohuslän. En svensk reduktion påverkar hela den svenska västkusten men en tydlig effekt fås i de mer inestängda vattenområdena i anslutning till Göta älvs och Nordre älvs utlopp och även i Klosterfjorden där Viskan mynnar. Längs den södra mer öppna Hallandskusten syns en mycket liten påverkan trots stor näringstillförsel i dessa områden. Omvänt ser vi den största effekten i Orust-Tjörnsystemet, trots förhållandevis liten landtillförsel som kan reduceras. Ute i öppna Kattegatt och Skagerrak är effekten av en svensk reduktion marginell (<1 %). En dansk reduktion på 50 % påverkar däremot hela Kattegatt, men inte öppna Skagerrak. En reduktion av närsaltstillförseln från Nordsjön påverkar öppna Skagerrak och norra och mellersta Bohuslän. Även hallandskusten påverkas via vindinblandningen från djup-till ytvatten av det nu mindre näringsrika djupvattnet i Kattegatt som bl.a. härrör från Nordsjön. Vid en reduktion av näringstransporten från Östersjön syns effekten främst i öppna Kattegatt och längs sydliga Halland och nordvästra Skåne. Den Baltiska strömmen för då mindre närsalter med sig norrut och en något mindre påverkan syns även längst Bohuskusten. Resultatet indikerar att näringssituationen i de öppna havsområdena påverkas framförallt av näringstransporter från Nordsjön, Östersjön, och Danmark. Landtillförseln från Sverige och Norge påverkar kustnära

områden på grund av strömsystemet med den Baltiska strömmen som övergår i den Norska kustströmmen. Näringsstatusen i de öppna kustbassängerna längs den svenska kusten är svåra att påverka p.g.a. av ett bra vattenutbyte. En del av vattnet i den Norska kustströmmen återcirkuleras i Skagerrak, men effekten av det är svårt att uppskatta. Modellen beräknar medeleffekten i varje kust-, och havsbassäng och ger ingen information om den mer strandnära effekten av en reduktion i näringstillförseln från land. Det är på denna mindre skala som övergödningseffekter såsom t.ex. ökad mängd snabbväxande makroalger observeras.

4.5. Slutsats

Det är tydligt både från observationer och från modellsimuleringar att transporten och tillgången på näring i Kattegatt men även Skagerrak inte bara ökar eller minskar p.g.a. människans utsläpp, utan även varierar relativt mycket med en period på närmare 10 år. Variationen tycks drivas av variation i klimatet och därigenom bl.a. av färskvattentransporten. Detta betyder också att våra föresatser att minska näringstillförseln från land får olika genomslag beroende på i vilken fas "klimatet" befinner sig i. Under perioder med hög färskvattentransport och nettotransport av näringsämnen från Östersjön till Kattegatt kommer det troligen vara svårare att upptäcka effekten av våra ansträngningar.

Modellsimuleringar visar att p.g.a. cirkulationsmönstret i Kattegatt och Skagerrak får en reduktion i näringstransporten från land till hav längs Sveriges västkust ingen större effekt på näringssituationen i utsjön. Istället är det vårt eget kustvatten vi kan påverka mest. Morfologin längs kusten med varierande öppna kuststräckor, djupa fjordar, och inestängda skärgårdar påverkas i olika hög grad av små eller stora tillflöden av näringsämnen från land. Detta behandlas vidare i kapitel 5 till 7.

5. Bohuslän

Beskrivning och analyser i detta avsnitt är gjorda på skalnivån kustvattenförekomst och del av kustvattenförekomst (vik).

5.1. Tillståndet i kustvattnet

Norra/Mellersta Bohuslän är definierat som kuststräckan från Idefjorden i norr till och med Gullmarsfjorden i söder. Södra Bohuslän definieras vi som fjordarna runt Orust och Tjörn. En sammanställning och utvärdering av de hydrografiska mätningarna för varje station längs Bohuskusten är gjord i SMHI (2004) och i årsrapporter. I nedanstående avsnitt gör vi istället jämförelser mellan de olika stationerna i Bohuslän.

Vattenutbyte & Hydrografi

Norra/ Mellersta Bohuslän

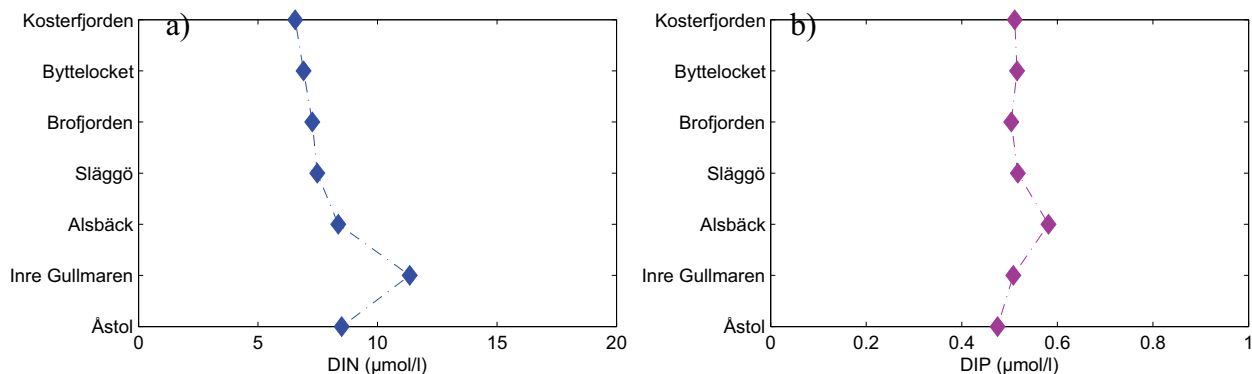
Det finns få hydrografiska stationer i norra Bohuslän där Kosterfjorden och Byttelocket vid Kungshamn används för att representera denna kuststräcka i vår analys. Både Kosterfjorden och Byttelocket ligger i den yttre skärgården och representerar därför inte förhållandena i innerskärgårdarna som kan antas vara mer påverkade av landtillförsel. Modellsimuleringar av näringskoncentrationer med SMHI:s kustzonmodellsystem för de olika kustvattenförekomsterna (kustbassängerna) har därför också används för att få en bättre täckning av området. Modellen tycks ge för låga syrekoncentrationer i t.ex. Kosterfjorden där vi också har mätningar, vi använder därför inte denna modellparameter i analysen. Mellersta Bohuslän är väl representerat av stationerna Byttelocket till I. Gullmaren i tabell 2. Åstol som ligger i södra Bohuslän används som jämförelsestation.

Tabell 2. Mätstationerna och i vilken vattenförekomst de är belägna. Se figur 10 för position. I tabellen anges även längden på observationsserierna och kvoten mellan oorganisk kväve (DIN) och fosfor (DIP) (medelvintervärdet, dec-jan) vid de olika stationerna. Datakälla: Bohuskustens vattenvårdsförbund.

Namn	Kosterfjorden	Byttelocket	Brofjorden	Släggö	Alsback	I. Gullmaren	Åstol
Kustv. förekom.	Kosterfjorden	Kungshamnsskärgård	Brofjorden	Gullmarsfj.	Gullmarsfj.	Gullmarsfj.	Marstrandsfjorden
Observ. period	86-07	85-07	90-07	85-07	85-90	90-07	88-07
DIN/DIP	12.8	13.4	14.4	14.4	14.4	22.3	17.9

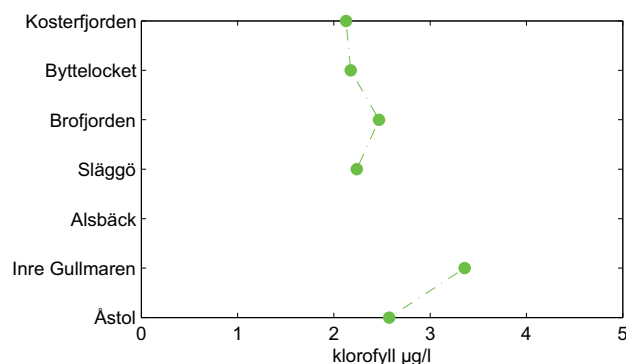
Vinterkoncentrationen av oorganiskt kväve (DIN) i ytvattnet (figur 15 a) för de olika stationerna i tabell 2 visar att Kosterfjorden har lägst koncentration och

kuststationerna längre söder ut något högre. Vinterkoncentrationen i inre delen av Gullmarsfjorden strax utanför Saltkälleffjorden är förhöjd p.g.a. av lokal tillförsel via Örekilsälven. Detta ser vi däremot inte i vinterkoncentrationen av oorganiskt fosfor (DIP) i ytvattnet som visar ungefär samma värde på samtliga stationer (15 b). Undantaget är Alsbäck mitt i Gullmarsfjorden men värdet vid just denna station är osäkert p.g.a. den korta tidserien som utgör underlaget (se tabell 2). Att det är samma koncentration av DIP inne i fjorden som utanför tyder på att landtillförseln i jämförelse är liten med tillförseln från havet.



Figur 15. Vintermedelkoncentrationen (dec-jan) av a) oorganiskt kväve (DIN) och b) oorganiskt fosfor (DIP) i ytvattnet (0-10 m). Observera att medelkoncentrationen vid Alsbäck endast bygger på 5 års observationer.

Upphållstiden för ytvattnet i Gullmaren är ca 20 dagar (Arneborg 2004) och eventuell förhöjd vinterkoncentration av näringsämnen i ytvattnet kan därför inte anses påverka produktionen under sommarhalvåret. Medelkoncentrationen av klorofyll i ytvattnet under sommaren speglar trots det vinterkoncentrationen av oorganiskt kväve (DIN), med ungefär samma medelkoncentration vid kuststationerna och en något ökad koncentration vid Inre Gullmaren, se figur 16. Detta tyder på en lokal tillförsel av näringsämnen även under sommarhalvåret som påverkar produktionen av växtplankton i fjorden.



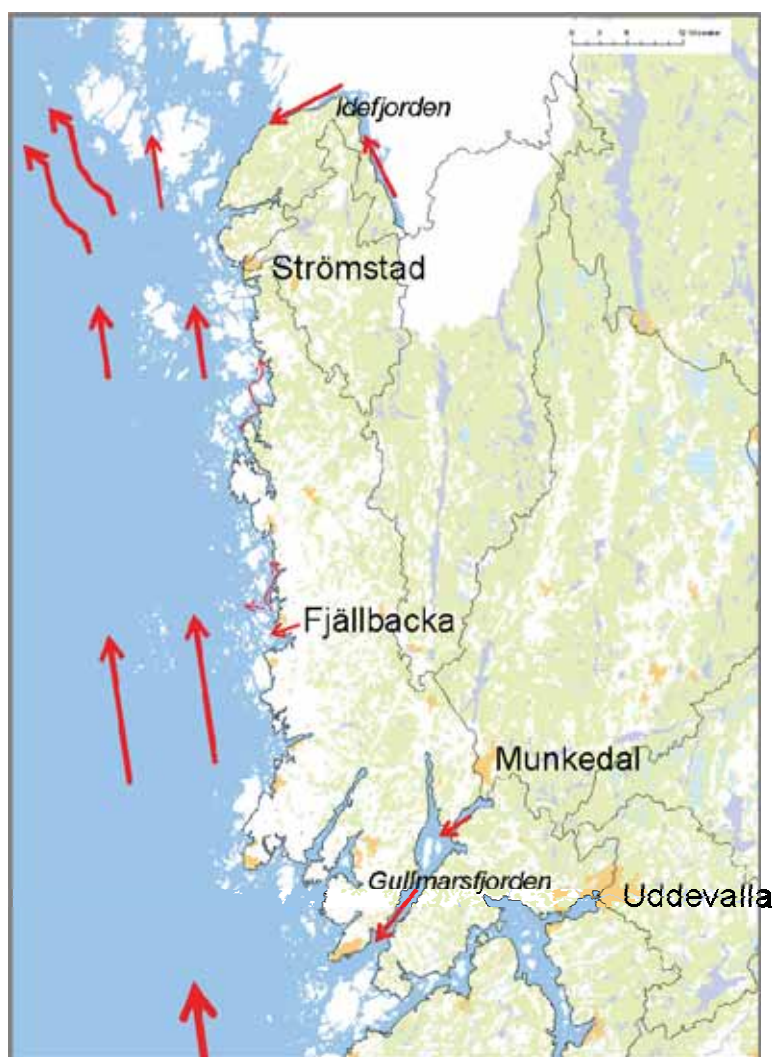
Figur 16. Medelklorofyllkoncentrationen (juni-aug) i ytvattnet (0-10). Inga observationer finns för Alsbäck.

Eftersom medelvinterkoncentrationen av DIP är relativt lika på de olika stationerna (figur 15 b) speglar variationen i kvoten mellan DIN och DIP snarast variationen i medelvinterkoncentrationen av oorganiskt kväve (DIN), med högre kvot längst in i Gullmarsfjorden. Vinterkvoten kan bara ge en indikation om vilket ämne som är

begränsande, och framförallt under våren. Uppmätta kvoter är inte tillförlitliga under den produktiva delen av året. En högre kvot än 16 men under 30 indikerar ett fosforbegränsat pelagiskt planktonsamhälle, men en kvävebegränsning för makroalgsamhället, såsom t.ex. snabbväxande makroalger (se avsnitt 3.4).

Tidsserier av närsaltsobservationer i norra och mellersta Bohuslän (motsvarande data som visas i figur 13 för utsjön) visar att vi har samma variation i närsaltskoncentrationen vid kuststationerna utanför fjordarna men även i inre delen av Gullmarsn (Tabell 5). En tydlig långtidsvariation på ca 7 år syns i mätningarna från 0-10 meters djup.

För att beskriva näringssituationen i norra Bohusläns innerskärgård använder vi SMHI:s kustvattenmodellssystem eftersom vi inte har några observationer av näringsämnen i dessa områden. Hydrografin och vattenutbytet för Sannäs-fjorden finns beskriven (Olsson 2007).



Figur 17. Näringstransporten i Norra/Mellersta Bohuslän med nettotransport av näring från land till kustvatten.

Enligt modellen är det förhöjda halter av kväve i de kustnära lite instängda havsområdena Inre Tjärnörarkepelagen, Stridsfjorden, och Lindöfjorden som ligger innanför norra och södra Kosterfjorden, och speciellt i de än mer inestängda vattnen i Tanumskilen och Sannäsfjorden som gränsar till dessa havsområden i söder. Flera vattendrag mynnar i de olika områdena, men tillförseln är generellt liten. Fjällbacka inre skärgård har något förhöjda koncentrationer av DIN. Om vi fortsätter söderut i mellersta Bohuslän är nästa område med förhöjda kvävekonzentrationer Gullmarsfjordens inre delar som vi diskuterat ovan utifrån observationer.

I Norra Kosterfjorden, Tjärnörarkepelagen (inre och yttre), och Södra Kosterfjorden är det förhöjda fosfor koncentrationer jämfört med angränsande kustvatten enligt modellen. Bassängområdena kring Tanum visar också på något förhöjda koncentrationer jämfört med kustvattnet. Det är Tanumskilen och Sannäsfjorden med angränsande vatten, d.v.s. Stridsfjorden respektive Lindöfjorden. Områdena norr och söderut som angränsar till dessa har dock inte förhöjda halter varför källorna är lokal tillförsel i Tanumskilen och Sannäsfjorden. Ytterligare söder ut i det skyddade området Grebbestad inre skärgård är fosforkonzentrationerna också något förhöjda, dock inte i den söderut angränsande Fjällbacka inre skärgården. Det relativt instängda läget i kombination med näringsläckaget från land (se avsnitt 5.2) är den troligaste förklaringen.

Tre områden i Norra/Mellersta Bohuslän har enligt SMHI: kustzonsmodell en nettotransport av näring från land och ut till kustvattnet (figur 17): Idefjorden, Fjällbacka inre skärgård, och Saltkällefjorden.

Till karaktären är Inre Fjällbacka skärgård och Saltkällefjorden mycket olika. Fjällbacka skärgården består av många öar och grunda vikar som försämrar vattenutbytet, vilket också karaktäriserar stora delar av övriga norra Bohuslän, flera vattendrag mynnar till Fjällbackaområdet med en total färskvattentillförsel på 6 m³/s. I Saltkällefjorden som utgör den östra inre grenen i Gullmarsfjorden mynnar Örekilsälven (26 m³/s) och fjordsystemet karaktäriseras av branta, klippiga stränder och relativt djupa bassänger. Denna skillnad i morfologi innebär en större risk att en lokal tillförsel av näring får negativa konsekvenser i norra än i mellersta Bohuslän. Retentionen av näringsämnen är också hög i norra Bohuslän enligt modellen och den största delen av den tillförda näringen stannar i innerskärgården. I Idefjorden längst i norr och Gullmarsfjorden i den södra delen av det vi definierar som norra Bohuslän är sänkan av lokalt tillförd näring relativt liten och det mesta transporteras vidare ut i kustvattnet.

Den Jutska strömmen når västkusten i Bohuslän och en ökad inblandning av havsvatten ökar volymen och salthalten i den Baltiska strömmen som strömmar norr ut längs kusten. I vattenutbytet mellan den Baltiska kustströmmen och Skagerrak kommer enligt modellen mer näringsämnen från kustvattnet till Skagerrakvattnet än tvärtom. Uttransporten av näringsämnen till öppna Skagerrak är liten i Bohuslän och den huvudsakliga transporten svänger sedan väster ut och följer kustlinjen och det norska Sörlandet.

Södra Bohuslän (Orust-Tjörnområdet)

Vattenutbytet mellan kustvattnet och Orust-Tjörn fjordsystem drivs i huvudsak av densitetsvariationer i kustvattnet (Björk et al. 2000). Studien visar också att skillnaden i färskvatteninnehåll i den norra och södra delen av systemet skapar en

nettotransport av vatten nordvärt. I Orust-Tjörn fjordsystem är uppehållstiden i bassängerna relativt långa av naturliga skäl eftersom det är inestängda bassängområden med smala sund och delvis grunda trösklar. Man kan därför förvänta sig att vintervärdena av de oorganiska fraktionerna av kväve och fosfor generellt är högre än utanför fjordsystemet. Detta är alltså p.g.a. den dåliga ventileringen av vattnet och lokal tillförsel av näring.

Den långsamma vattenomsättningen i delar av systemet gör det extra känsligt för lokal tillförsel av näring. Salthaltsskiktningen inne i systemet ser dock ungefär likadan ut som i området utanför d.v.s. skiktningen i kustvattnet ovan tröskelnivån importeras till fjordarna. Huvudtransporten av näringsämnen och vatten går som beskrivs nedan via Havstensfjorden och söderut via Hakefjorden. Hakefjorden längst söderut har en öppen förbindelse med kustvattnet som är ca 25 meter djup och flera kilometer bred. Havstensfjorden längre in har en uppehållstid på ca 80 dagar och Koljö fjord som är mer inestängd och har en uppehållstid på 100 dagar (Björk et al. 2000). På grund av de trånga förbindelserna mellan Koljö fjord och kustvattnet byter både Koljö fjord och Byfjorden i huvudsak vatten med Havstensfjorden, men även Malö strömmar bidrar till vattenutbytet i Koljö fjord. Vattenutbytet mellan Byfjorden och Havstensfjorden efter muddringen som genomfördes 1996-1997 har beräknats av Viktorsson (2007) och uppehållstiden för vattnet ovanför tröskeldjupet i Byfjorden är ca 7 dagar.

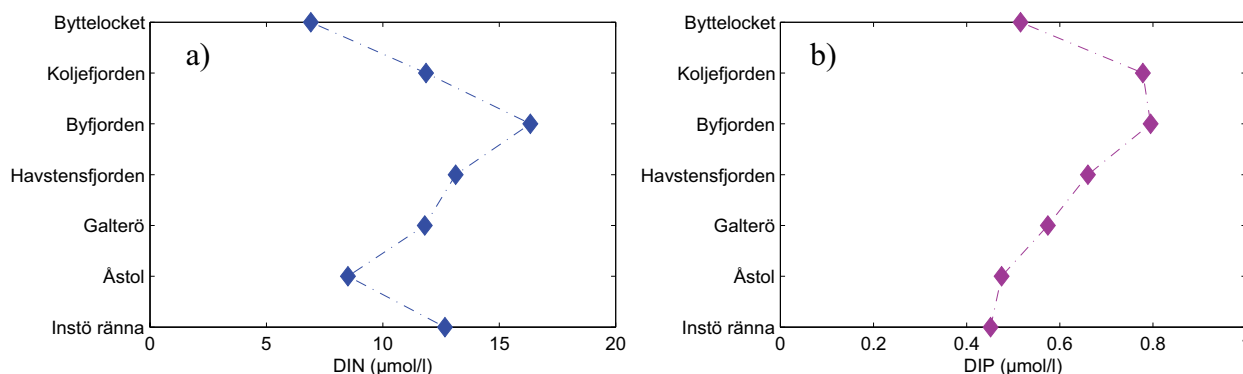
Tabell 3. Mätstationerna och i vilken vattenförekomst de är belägna. Se figur 10 för position. I tabellen anges även längden på observationsserierna och vinterkvoten mellan oorganiskt kväve (DIN) och oorganiskt fosfor (DIP) vid de olika stationerna. Datakälla: Bohuskustens vattenvårdsförbund.

Namn	Byttelocket	Koljö-fjord	By-fjorden	Havstens-fjorden	Galterö	Åstol	Instö ränna
Kustv. Förekom	Kungshamn s skärgård	Koljö-fjord	By-fjorden	Havstens-fjorden	Halse-fjorden	Marstrands-fjorden	Älgö-fjorden
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

Vintermedelkoncentrationen i ytvattnet (0-10 m) av den oorganiska delen av kväve (DIN) och fosfor (DIP) för de olika bassängerna i fjordsystemet visas i figur 18. Som jämförelse kan nämnas att de högsta medelkoncentrationerna inne i Orust-Tjörnorådet är lika höga eller högre än vid stationerna i Götaälvs mynningsområden, trots den betydligt mindre tillförseln av näringsämnen.

Byttelocket vid Kungshamn är dock utanför och norr om och används som referensstation. Instö ränna i södra delen är starkt påverkad av utflödet från Nordre älv och visar relativt höga DIN-koncentrationer. En liten del av vattnet från Nordre älv strömmar delvis genom fjordsystemet. Effekten av Nordre älv märks bara något vid Åstol som ligger längre ut i Marstrandsfjorden (figur 18 a). Längre in i fjordsystemet ökar koncentrationerna som är som störst i Byfjorden där vi också har högst lokal tillförsel. Koncentrationen av kväve minskar igen i ytvattnet i Koljöfjord som inte bara har vattenutbyte med Havstensfjorden utan även

ventileras till Ellösfjorden via Malöströmmar. Som jämförelse kan man se att effekten av Göta älv/Nordre älv inte syns längre norr ut vid Byttelocket.



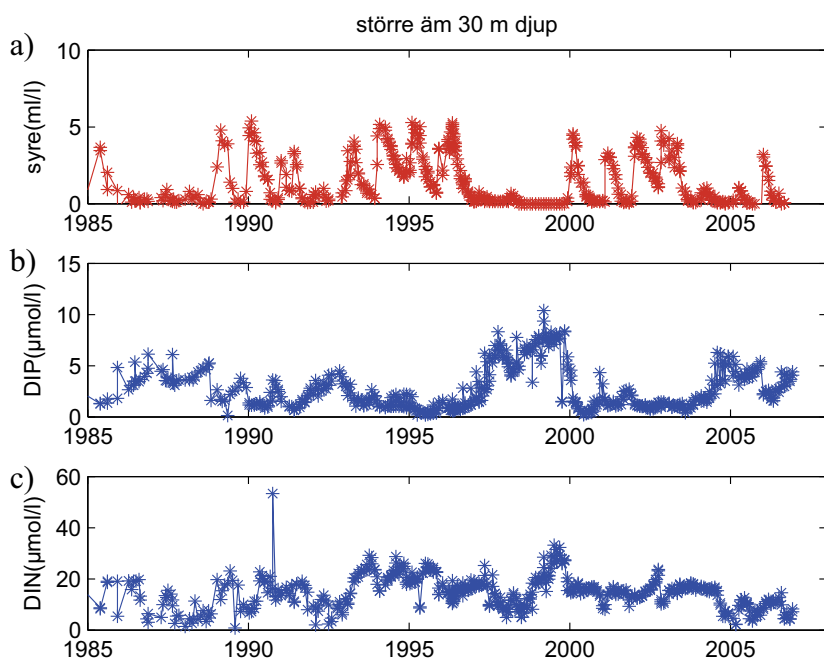
Figur 18. Vintermedelkoncentrationen (dec-jan) av a) oorganiskt kväve (DIN), b) oorganiskt fosfor (DIP) i ytvattnet (0-10 m).

Koncentrationerna av oorganiskt fosfor visar ett liknande men något annorlunda mönster (figur 18 b). Åstol och Instö ränna har samma koncentration som vår referensstation Byttelocket, vilket vi tolkar som att utsjövattnet har en dominerande roll för koncentrationen av DIP vid dessa stationer. Längre in i fjordsystemet ökar koncentrationen med maximum i Byfjorden men också i Koljö fjord. En närmare titt på observationerna visar att den höga medelkoncentrationen i Koljö fjord och Byfjorden delvis kan kopplas till observationstillfällena strax efter totala djupvattenutbyten där det stagnanta djupvattnet med höga fosforkoncentrationer lyfts upp till ytan av tyngre inflödande nytt djupvatten (figur 19).

Både Byfjorden och Koljö fjord har stagnationsperioder på flera år vilket resulterar i låga syrehalter och höga koncentrationer av näringsämnen. Havstensfjorden och området vid Galterö utanför Stenungsund byter djupvatten varje år och har därför lägre näringskoncentrationer i djupvattnet. Även i Havstensfjorden slår djupvattenutbytet troligen igenom och höjer vintermedelvärdet i ytvattnet. Man kan alltså konstatera att effekten av lokal tillförsel från land och djupvatteninflöde som diskuterats ovan är förhöjda vinterkoncentrationer i ytvattnet (0-10 m djup) i Orust-Tjörnområdet jämfört med kustvattnet. Eftersom djupvattenutbytet är den största näringskällan för vinterkoncentrationen av framförallt DIP är kopplingen mellan primärproduktionen och klorofyllhalter under sommaren inte självklar, men med den långa uppehållstiden för ytvattnet inne i fjordsystemet finns en möjlig koppling. Den tydliga koppling mellan vinterkoncentrationen i ytvattnet och djupvattnet när det gäller DIP finns inte när det gäller den oorganiska delen av kvävet (DIN), där landtillförsel och utbyte av ytvatten mellan bassängerna spelar större roll för vinterkoncentrationen i ytvattnet.

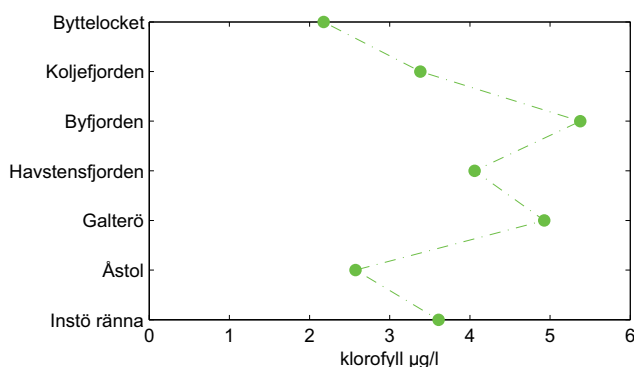
Kvoten mellan DIN och DIP som anges i tabell 3 är svårtolkad p.g.a. effekten av djupvattenutbyten. Koljö fjord har en betydligt lägre kvot än övriga bassänger, vilket kan tolkas som en effekt av det höga vintervärdet av oorganiskt fosfor (DIP) som diskuterades ovan, och en mindre färskvattenpåverkan. Byfjorden med liknande vintervärde vad gäller DIP har betydligt högre kvot troligen p.g.a. tillförseln av DIN från framförallt Bäveån. Havstensfjorden och Askeröfjorden har samma kvot som Byfjorden men lägre vinterkoncentration av DIP och följaktligen av DIN. DIN koncentrationen i ytvattnet i dessa bassänger påverkas möjligen även

av den höga koncentrationen vid Instö ränna p.g.a. framförallt Nordre älv's tillflöde. Kvoterna inne i fjordsystemet är tydligt förhöjda jämfört med kustvattnet och ligger mellan 18-28 (tabell 3). Vinterkvoten kan bara ge en indikation om vilket ämne som är begränsande, och framförallt under våren. Uppmätta kvoter är inte tillförlitliga under den produktiva delen av året. En högre kvot än 16 men under 30 indikerar ett fosforbegränsat pelagiskt planktonsamhälle, men en kvävebegränsning för makroalgssamhället, såsom t.ex. snabbväxande fintrådiga alger (se avsnitt 3.4).



Figur 19. Observationer i Koljö fjord under 1985-2007. a) Syrekonzentrationen och b) koncentrationen av oorganiskt fosfor (DIP), och c) koncentrationen av oorganiskt kväve (DIN) i djupvattnet (>30 m). Längre stagnationsperioder (låga syrevärden) resulterar i högre koncentrationer av DIP i djupvattnet.

Medelklorofyllkoncentrationen i ytvattnet (0-10 m) under sommarmånaderna som visas i figur 20 indikerar högre koncentrationer inne i fjordsystemet än vid de stationer som representerar kustvattnet utanför. Vi kan också se att de högsta koncentrationerna återfinns i Byfjorden och vid Galterö. I ett system med långa uppehållstider för vattnet exporteras en liten del av primärproduktionen till andra bassänger men en stor del har möjlighet att sedimentera lokalt och bidrar då till att



öka syrekonsumentionen och öka närsaltskoncentrationen i djupvattnet då det organiska materialet bryts ner.

Figur 20. Medelklorofyllkoncentrationen (juni-aug) i ytvattnet (0-10 m) i och utanför Orust-Tjörnområdet

Detta diskuteras nedan med hjälp av observationer av partikulärt organiskt material (POC). Den högre klorofyllkoncentrationen vid Galterö i Askeröfjorden beror bl.a. på tillförsel av näringsämnen från reningsverk och industri i Stenungsundsområdet och sammanfaller med kända problem med snabbväxande makroalger i Askeröfjorden. De generellt högre klorofyllhalterna i fjordsystemet (figur 20) visar på att det är större tillgång på näringsämnen i fjordsystemet än utanför även under den produktiva perioden, speciellt gäller det Byfjorden och Halsefjorden.

Näringsstatusen i grunda vikar där snabbväxande makroalger företrädesvis förekommer observeras inte regelbundet och kan därför inte diskuteras här.

Tidserier av närsaltsobservationer från 0-10 m djup i Orust-Tjörnområdet visar att vi har samma variation i närsaltskoncentrationen vid kuststationerna utanför Orust-Tjörnområdet som ute i Skagerrak och Kattegatt (figur 13). Däremot försvinner variationen inåt i systemet och observationerna i Havstensfjorden, Koljö fjord och Byfjorden visar inte något liknande mönster i koncentrationerna. Anledningen är troligtvis de långa uppehållstiderna för vattnet i Koljö fjord och Havstensfjorden och därför en tydligare lokal påverkan på näringssituationen genom upplyft av djupvatten och färskvattentillförsel.



Transportberäkningar med SMHI:s kustzonsmodell visar att nettotransporten av näringsämnen går ut ur fjordsystemet. Den största tillförseln sker i Byfjorden längst in och ca 2/3 av näringstransporten går söder ut via Hakefjorden medan ca 1/3 går norrut via Koljö fjord. Den lokala sänkan av näringsämnen (nettosedimentation och denitrifikation) är relativt stor p.g.a. det inestängda läget. Störst är den i Havstensfjorden och Hakefjorden där sänkan utgör 40-50 % av den

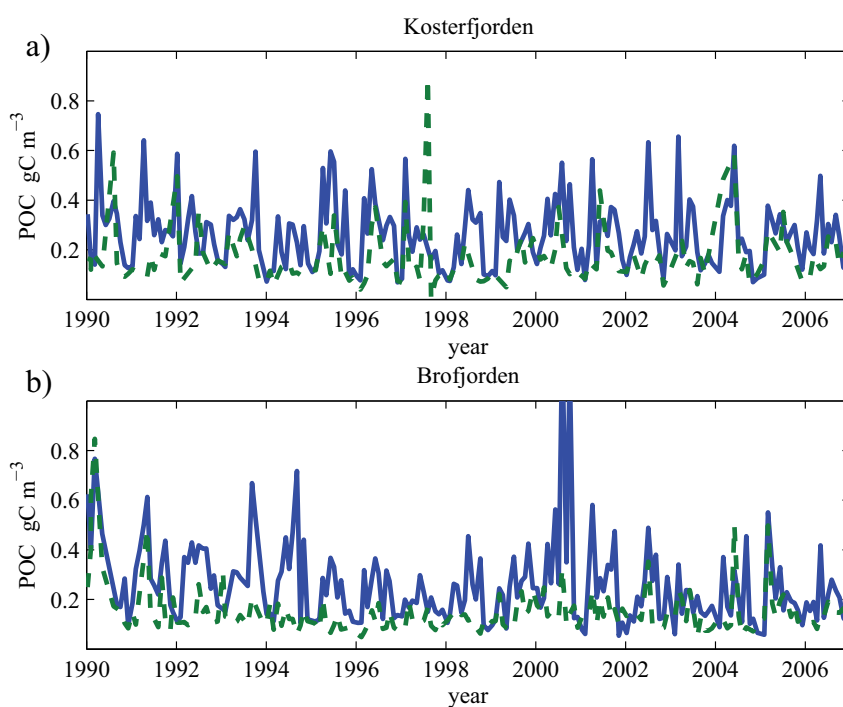
Figur 21. Nettotransporten av näringsämnen i Orust-Tjörn fjordsystem

lokala näringstillförseln. Retentionen av näringsämnen är alltså relativt hög i fjordsystemet och uttransporten av näringsämnen till kustvattnet är därför reducerad. Näringstransporten vidare ut i Kattegatt är liten och merparten följer den Baltiska strömmen norrut (figur 21).

Organiskt material & syreförhållanden

Norra/Mellersta Bohuslän

Nedbrytningsprocessen av organiskt material förbrukar syre. Den vertikala transporten av det partikulära organiska materialet (POC) som produceras i ytvattnet påverkas av skiktningen. Den största produktionen sker i de övre 10 metrarna och som syns i figur 22 är det stor skillnad på koncentrationen på 5 m och 20 m, där 20 m representerar koncentrationen under salthaltssprångskiktet. Observationer av POC finns för Kosterfjorden och Brofjorden i kustvattnet och i inre delen av Gullmarsfjorden (visas inte). Den tydliga årstidsvariationen som ses i ytvattnet är inte alls lika tydlig under salthaltssprångskiktet och mycket av det som produceras i ytvattnet "fastnar" i språngskiktet, mineraliseras och återcirkuleras i oorganisk form. I vissa fall finns en tydlig koppling t.ex. våren 1990 då höga koncentrationer observerades både över och under språngskiktet (figur 22). Det tycks vara en starkare koppling mellan vattenmassorna över och under salthaltssprångskiktet vid Kosterfjorden än vid Brofjorden. Koncentrationen av POC är också generellt högre vid Kosterfjorden vid 20 m djup jämfört med t.ex. Havstensfjorden (figur 23) nedan som visar på låga koncentrationer av POC under språngskiktet trots höga koncentrationer i ytlagret. Detta kan bero på den svagare skiktningen d.v.s. högre salthalt i ytvattnet längre norrut. Möjligen kan det också förklaras med de mer öppna och mer turbulenta förhållandena i Kosterfjorden som kan bidra till en ökad sammanslagning av produktionen och bildande av större aggregat som sedimenterar fortare (se t.ex. Kiørboe et al. 1994).



Figur 22. Observationer av POC koncentrationen vid a) Kosterfjorden och b) Brofjorden från 1990 till 2007. Observationer över salthaltssprångskiktet på 5 m djup (blå linje) och under salthaltssprångskiktet på 20 m djup (grön streckad linje).

Vattenutbytet ute i Kosterfjorden är bra och syrekonzentrationen har en årlig variation mellan ca 4 ml/l under hösten och ca 7 ml/ under tidig vår. Syreförhållandena vid kuststationerna , är också bra p.g.a. vattenutbytet. Djuphålan vid Alsbäck inne i Gullmarsfjorden har låga syrekonzentrationer under hösten (ca 2 ml/l), se SMHI (2008) och en negativ långtidstrend i lägsta syrekonzentration (Rosenberg 1990, Erlandsson et al. 2006). Erlandsson et al. 2006 analyserade både syre och POC data och kom fram till att den negativa trenden till 40 % kan förklaras med senare inbrott av nytt djupvatten under hösten/vintern och att den resterande delen kan kopplas till en ökad syrekonsumtion i djupvattnet. De drog även slutsatsen att Skagerrakvattnet är den viktigaste källan till POC i fjordens djupvatten. Det betyder att det är det material som transporteras in under salthaltssprångskiktet som bidrar mest till syreförbrukningen i djupvattnet, och alltså inte den lokala produktionen. Detta pekar på att det är en generell ökning av organiskt material i kustvattnet som är orsaken.

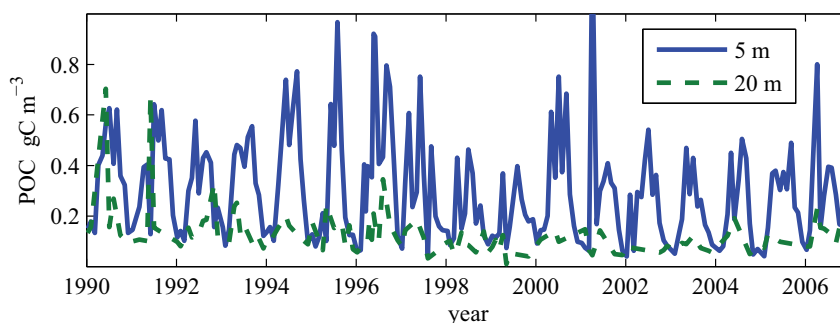
I de mer inestängda delarna av norra Bohuslän har vi observationer av salt och temperatur i Sannäsfjorden. Djupvattnet i fjorden har en stagnationsperiod på veckor till ca 5 månader (Olsson 2007), men vi har tyvärr inga observationer av syre, klorofyll eller näringsämnen. SMHI:s kustzonsmodell beräknar syrekonzentrationen under hösten till ca 1.5 ml/l, men uppskattningen för exempelvis Kosterfjorden är låg jämfört med observationer och det är osäkert om bättre förhållanden än vad modellen visar råder även i Sannäsfjorden.

Södra Bohuslän (Orust-Tjörnområdet)

Observationer av POC finns för Koljö fjord och Havstensfjorden inne i Orust-Tjörn fjordsystem. Byttelocket respektive Åstol får representera kustvattnet norr och söder om. Som syns i figur 23 är det stor skillnad på koncentrationen på 5 m och 20 m även i fjordsystemet innanför Orust och Tjörn. Mätningar på 20 m djup representerar koncentrationen under. Även här finns en tydlig koppling t.ex. våarna 1990 och 1991 då höga koncentrationer observerades både över och under språngskiktet i Havstensfjorden (figur 23). Observationerna görs en gång i månaden och sedimentation i samband med exempelvis vårbloomingar är lätt att missa. Att delar av vårbloomingen i Koljö fjord hamnar på botten har tydligt setts i sedimentprover. Syreförbrukningen är ca 7 ml/l och år i just Koljö fjord men enligt Kajrup (1996) ses ingen ökning i syreförbrukningen under åren 1960-1992. Inte heller i Havstensfjordens djupvatten sågs någon signifikant ökning i syreförbrukning under perioden. Tröskeln mellan Havstensfjorden och Hakefjorden är 20 m till skillnad från trösklarna mellan Havstensfjorden och Koljö fjord respektive Byfjorden som är 10 m. Det intermediära vattenutbytet som drivs av densitetsfluktuationer bär även med sig POC, som alltså både importeras in och exporteras ut ur fjordarna. Det material som hamnar på botten och bidrar till syreförbrukningen produceras alltså lokalt men en del importeras från angränsande vatten.

I den studie av Gullmarsfjorden (Erlandsson et al. 2006) som diskuterats ovan visas det att Skagerrakvattnet har potential att bidra med den största delen av det partikulära organiska materialet som bryts ner i djupvattnet. Uppehållstiden är betydligt längre (dubbelt) i Havstensfjorden än i Gullmarsfjorden, och den lokala produktionen har därför större möjlighet att bidra till den vertikala transporten av POC istället för att "spolas" ut i kustvattnet. Den stora skillnaden i koncentration av POC mellan vattenmassorna övre och under språngskiktet som ses i figur 23

tyder dock på att salthaltssprångskiktet mellan det lättare Kattegattvattnet och det tyngre Skagerrakvattnet som importerats in i fjordarna innanför Orust-Tjörn delvis motverkar den lokala vertikala transporten av POC.



Figur 23. Observationer av POC koncentrationen vid station Havstensfjorden från 1990 till 2007. Observationer över salthaltssprångskiktet på 5 m djup (blå linje) och under salthaltssprångskiktet på 20 m djup (grön streckad linje).

Snabbväxande makroalger

Utifrån data från Bohuskustens vattenvårdsförbunds (BVVF) kontrollprogram har det genomförts en bedömning av vattenförekomsternas status med avseende på utbredning av snabbväxande makroalger under perioden 1998-2007. Längs kuststräckan har därefter totalt 16 områden (röd och orange i figur 24) utpekats som tydligt påverkade av övergödning, varav 7 stycken pekats ut som högprioriterade (röd) för djupare analys. I mellersta Bohuslän är läget bättre med god till måttlig status i fjordarna (figur 24). Den höga koncentrationen av snabbväxande makroalger sammanfaller med områden som vi tidigare identifierade som områden med sämre vattenutbyte och förhöjda koncentrationer av näringsämnen.

I intervjuer och diskussioner med berörda kommuner i Bohuslän har dessa ombetts peka ut områden som bedöms som kraftigt påverkade av utbredning av snabbväxande makroalger. I Strömstad kommun finns höga koncentrationer av alger runt Tjärnö, Älgöleran, Tångebukten, i Dillehuvudflo, i Nyckelbykilen, i Dynekilen vid Hällestrand samt på gränsen mellan Tanum och Strömstad kommuner. Runt bron till Daftö finns mycket alger vilket är mycket negativt för badplatserna där.

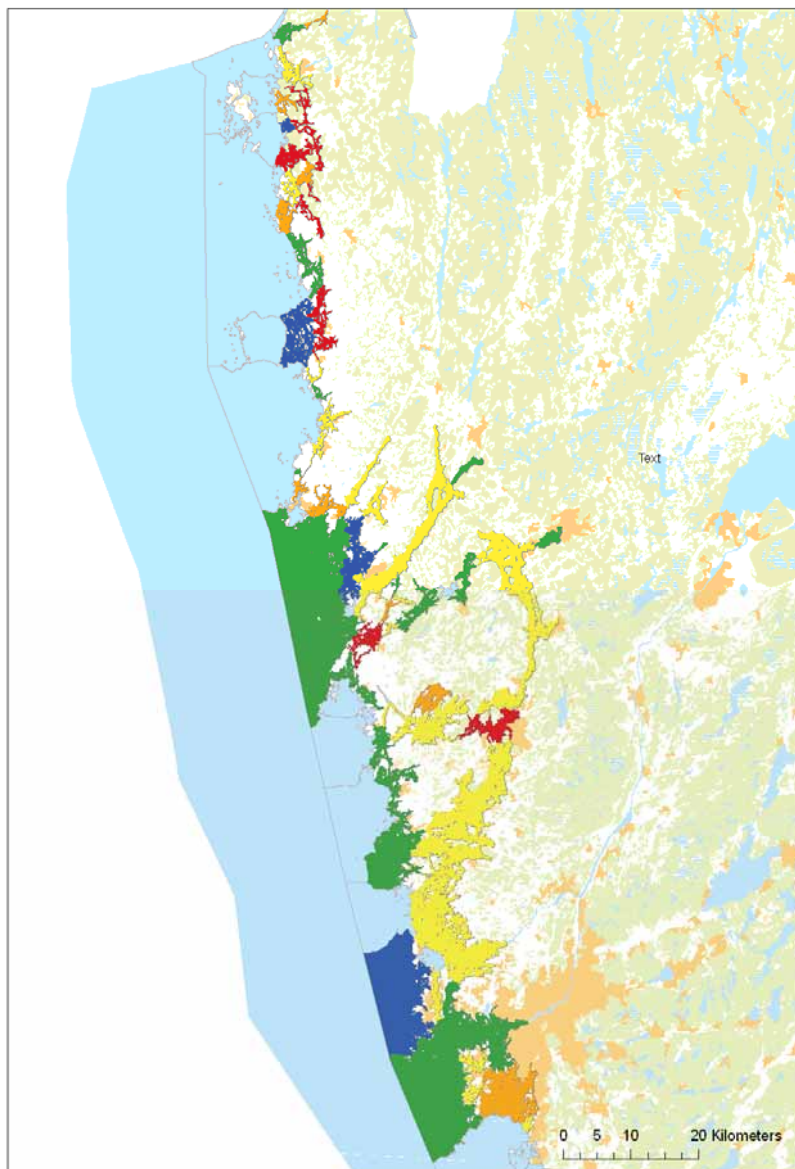
De åtgärder som vidtagits i Tanums kommun inom ramen för kommunens LIP-projekt i form av bl.a. borttagande av vägbankar har varit koncentrerade till den norra delen av den inre skärgården där de snabbväxande makroalgerna har dominerat. Dock finns fortfarande stora problem med alger i skyddade vikar inom kommunen. De åtgärder som genomförts har förbättrat förhållandena i Galtö lera och sundet innanför Galtö, områden som tidigare har haft stor utbredning av grönalgs mattor. Inga åtgärder har dock vidtagits i vägbanken mellan Galtö och Resö.

I Sotenäs kommun har man observerat en generell ökning av snabbväxande makroalger längs hela kusten. En effekt är att man för bad söker sig längre och längre ut i havsbandet. Snabbväxande makroalger finns längst inne i Åbyfjorden, i

Hunnebo lera, innanför Sandön vid Hasselösund, i Klevekilen nedströms bäck från deponeringsanläggningen, längst in i Vikefjorden vid bäckmynningen vid Amhult samt utanför Knutsvik (vid Örn).

I Lysekils kommun finns observationer av fintrådiga grönalger i det grunda området innanför Gåsö, i bassängen innanför Lindholmen (norra delen av Skaftö) samt vid vissa tillfällen i Brofjorden.

Resultaten från dessa kommundialoger bekräftas av den bild som framkommer i analysen av data från Bohuskustens vattenvårdsförbund.



Figur 24. Bedömning av snabbväxande makroalgers påverkan på vattenförekomstens status baserat på data från Bohuskustens vattenvårdsförbund (BVVF) kontrollprogram 1998-2007. blå – mycket god; grönt – god; gul – måttlig; orange – otillfredställande; röd – dålig.

Södra Bohuslän (Orust-Tjörnområdet)

Snabbväxande makroalger i grunda vikar anses vara ett tecken på övergödning, men det är tydligt att förekomsten också speglar vattenomsättningen i kustområdena. Observationer av snabbväxande makroalger i grunda vikar genom flygfotografering över Bohuslän under de senaste 10 åren pekar i Orust-Tjörnområdet ut Askeröfjorden utanför Stenungsund som ett område med hög frekvens av snabbväxande makroalger, alltså dålig status (figur 24). I många områden ser det relativt bra ut. Byfjorden och Koljö fjord till exempel pekas inte alls ut som några problemområden. Havstensfjorden och Hakefjorden visar tidvis vissa tecken på ansamling av alger. I Kalvöfjorden är det otillfredsställande men bättre än i Askeröfjorden. Snäckedjupet i norra yttre änden av fjordsystemet pekas också ut som ett område med dålig status.

Kommunerna i Orust-Tjörnområdet konstaterar att sundet mellan Resterön och fastlandet i Uddevalla kommun har problem med igenväxning. Runt Orust förekommer fintrådiga grönalger allmänt i grunda skyddade vikar och särskilt på grunda bottenar i Stigfjorden, i norra delen av Kalvöfjorden och i Västra kilen vid Vindön. Mattor av snabbväxande makroalger finns sommartid i Stigfjordens naturvårdsområde mellan Toröd och Kölered, i Höviksnäsviken samt i sundet mellan Mjörn och Tjörn. I ett område i viken utanför Olsby har man sett en förbättring. Detta skedde efter det att kommunen genomfört saneringsåtgärder avseende enskilda avlopp vid ett 40-tal fastigheter och ersatte avloppen med ett minireningsverk. Stenungsunds kommun har tidigare ansökt om medel för att förbättra vattenomsättningen i sund genom att öppna vägbankar. Man har tidigare fått avslag för att öppna två vägbankar mellan Mjörn och Tjörn samt mellan Stora och Lilla Askerön (gräns mellan Stenungsunds och Tjörns kommuner).

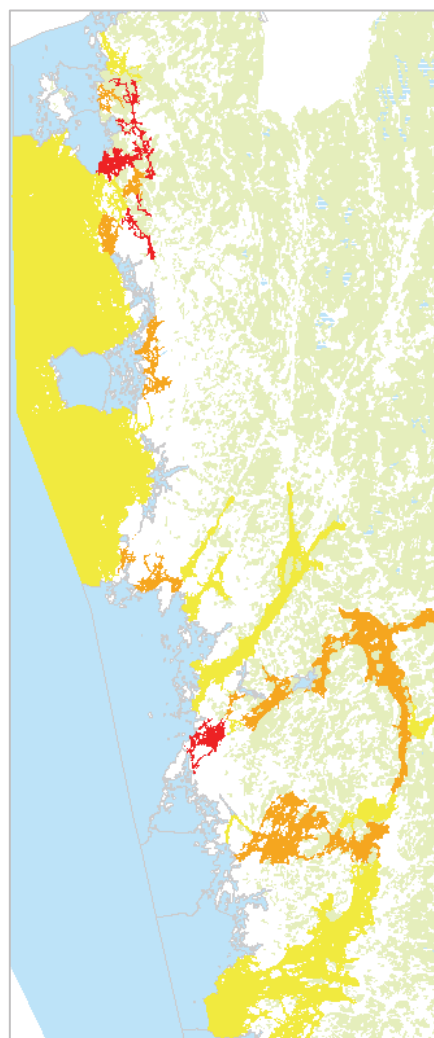
Övergödningss känsliga områden

Vi har valt att använda ett antal indikatorer i kombination för att peka ut känsliga men nödvändigtvis inte högt belastade områden (se metodbeskrivning). En sammanvägning av dessa ger en bild av vilka områden som är mest påverkade av tillförseln från land och över hur känsliga de olika områdena är för övergödning. Resultatet av analysen visas i figur 25.

Hela norra Bohuslän och Orust-Tjörn området pekas ut som känsliga områdena (figur 25). Det som karakteriserar områdena i norra Bohuslän är grundområden med långsam vattenomsättning som gör att näringen stanna kvar och ger gynnsamma förhållanden för snabbväxande makroalger. Den indikator som ger mest utslag är ytsamlingar av makroalger. Innerskärgården är känslig för lokal tillförsel, men även den regionala tillgången på näring.

Fjordsystemet innanför Orust och Tjörn karakteriseras av djupvattenbassänger med tidvis stagnanta förhållanden och därför tidvis även låga syrekoncentrationer som en effekt av nedbrytning av organiskt material och låg tillförsel av syrerikt djupvatten. De indikatorer som ger mest utslag i Orust Tjörn området är syrekoncentration i djupvattnet och status på bottenlevande djursamhällen.

Fjordsystemet är känsligt för lokal tillförsel av näringsämnen till ytvattnet eftersom uppehållstiden för ytvattnet är tillräckligt långt för att tillåta sedimentation av den lokala produktionen till djupvattnet. Så är fallet för de inre delarna av Orust-Tjörn fjordsystem. Ellösefjorden på utsidan Orust (röd på kartan) har hög förekomst av fintrådiga alger i innesängda delar av fjorden. Tillförseln av näringsämnen kommer från reningsverk och fiskberedningsindustri, men lokala enskilda avlopp och hög belastning av fritidsbåtar kan vara andra möjliga orsaker.

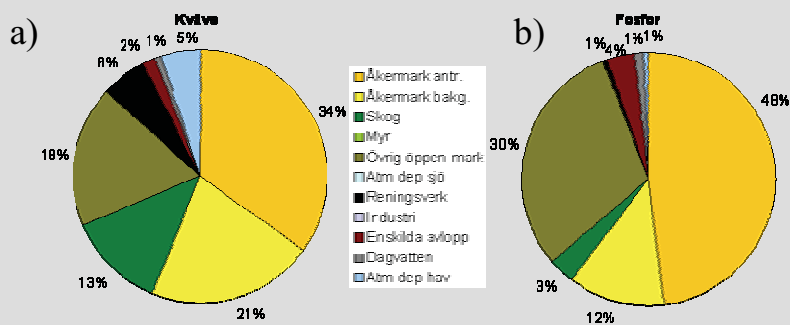


Figur 25. Övergödningskänsliga områden enligt utvalda indikatorer i norra respektive södra delen av västerhavets distrikt. **Rött** - mycket övergödningskänsligt. **Orange** - klart övergödningskänsligt. **Gult** - måttligt övergödningskänsligt.

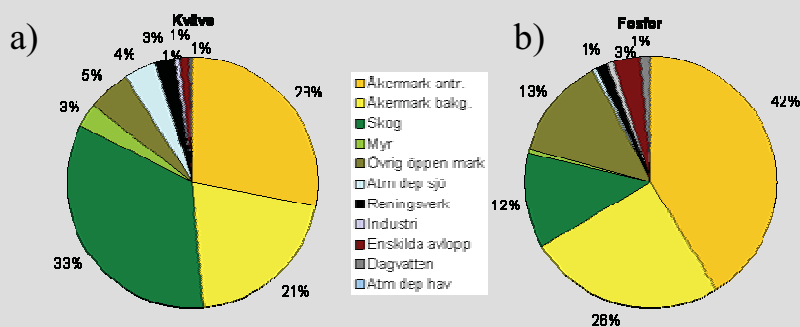
5.2. Belastning från land och atmosfär

Belastningen från land är inte så hög längs den norra/mellersta delen av Bohuslän jämfört med tillförseln i Göteborgsområdet och längs den Halländska kusten (figur 2) men har påverkan på miljön. Generellt är de kustmynnande vattendrag på Bohuskusten små och har en vattenföring på mindre än 3 m³/s bortsett från de stora älvarna Enningdalsälven som rinner till Idefjorden och Örekilsälven som rinner till Saltkällefjorden, samt de mellanstora vattendragen Strömsån och Bäveån som mynnar i Strömstadsfjorden respektive Byfjorden.

Idefjorden bidrar med en relativt stor mängd näring till havet (figur 2) men en stor del av detta är av norskt ursprung, och vi väljer därför att inte analysera förhållandena i Idefjorden, då denna diskussion i förlängningen måste genomföras i dialog med vårt grannland. I övriga norra och mellersta Bohuslän ligger Fjällbacka inre skärgård och Saltkällefjorden med på listan över de 10 områden som mottar mest näring från land längst västkusten (figur 2).



Figur 26. Källfördelningen av tillförseln från land och atmosfär av a) kväve och b) fosfor till Fjällbacka inre skärgård. Övrig öppen mark är t.ex. betesmarker, ängar och berg i dagen. Den totala tillförseln är 232 ton kväve/år och 16 ton fosfor/år. Beräkningar från SMED.



Figur 27. Källfördelningen av tillförseln från land och atmosfär av a) kväve och b) fosfor till Saltkällefjorden. Övrig öppen mark är t.ex. betesmarker, ängar och berg i dagen. Den totala tillförseln är 810 ton kväve/år och 30 ton fosfor/år. Beräkningar från SMED.

Den största delen av åkerarealen utgörs av vallodling. Av markanvändningen är ändå åkermarken den största källan till näringsämnen men även övrig mark utgör en stor del. Det diffusa läckaget från marken är den dominerande källan till näring från land och atmosfär till båda kustvattenförekomsterna med 86 % och 60 % för kväve och 93 % och 73 % för fosfor, för Fjällbacka inre skärgård respektive Saltkällefjorden (figur 26 och 27). Åkermarkens bakgrundsläckage är mängden näringsämnen som kan antas läcka från ogödslad vall. I Fjällbacka inre skärgårds avrinningsområde som kan anses representera förhållandena i norra Bohuslän är det antropogena bidraget från åkermarken av kväve och fosfor hela 62 % respektive 80 % av det totala läckaget från åkermarken till havet. Här kommer över 80 % av näringen från land via de två vattendragen Anråsälven och Jorälven.

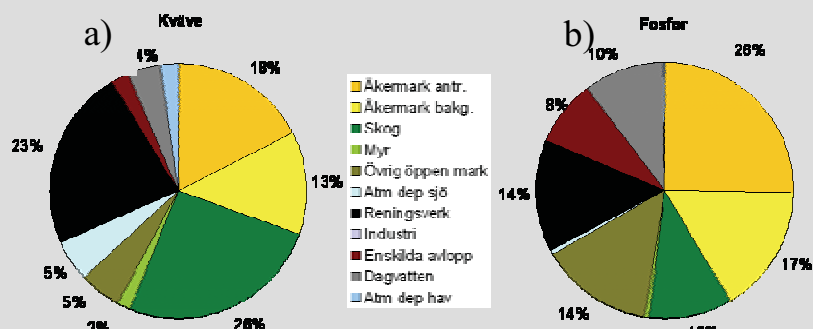
Bohusläns jordar har ett naturligt stort läckage av näringsämnen bland annat p.g.a. jordart och den förhållandevis stora nederbördsmängden (figur 12). Generellt för norra och mellersta Bohuslän gäller att markanvändningen står för den största delen av läckaget, och att fosforläckaget från marken procentuellt är större än kväveläckaget. Tillförseln av näringsämnen via reningsverk är relativt liten och här är det procentuella bidraget större för kväve än för fosfor. Det totala bidraget av fosfor från enskilda avlopp till både Fjällbacka och Saltkällefjorden är 3 %, men kan utgöra ett förhållandevis stort bidrag i andra delar av Bohuslän där övriga källor är små. Tillförseln av näringsämnen från industrin och reningsverk är liten i båda områdena (≤ 1 %). Inga industrier med betydande utsläpp av näringsämnen finns i norra Bohuslän, norr om Brofjorden.

En källa till näring som inte är nämnd ovan är den norska floden Glomma som tidvis färgar ytvattnet i norra Bohuslän brunt. Den totala landtransporten till Norra Bohusläns skärgårdsvatten utanför själva skärgården från den norska sidan är 9850 ton kväve per år och 530 ton fosfor per år. Det är i samma storleksordning som Nordre älvs bidrag till kvävetillförseln från land och dubbelt så stort som fosfor tillförseln. Trots den stora tillförseln beräknar SMHI:s kustzonsmodell att koncentrationerna av näringsämnen inte är förhöjda i Norra Bohusläns skärgårdsvatten. Däremot kan Glommas bidrag troligen tidvis höja koncentrationerna i innerskärgården.

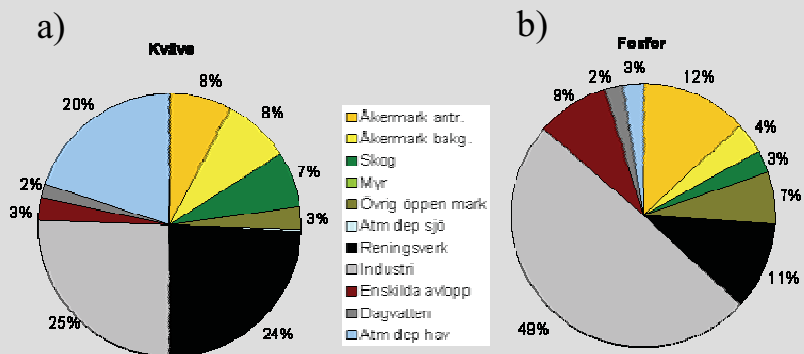
Längst in i Orust-Tjörn fjordsystem ligger Byfjorden. Av de 10 områden som göder havet mest längs den svenska västkusten så har Byfjorden den näst lägsta belastningen av kväve och den lägsta av fosfor (figur 2). Tillrinningen är i medeltal 5-6 m³/s (SMHI:s HBV modell) och den största tillrinningen sker via Båveån (4 m³/s) enligt observationer (Lagesson et al 2005). Källfördelningen för tillförseln från land till Byfjorden visas i figur 28. Enligt dessa beräkningar så står åkermarken i tillrinningsområdet för ca 30 % och 40 % av den totala kväve respektive fosfortillförseln. Även övrig mark och skog som är att betrakta som bakgrundsläckage bidrar till stor del. Jordbruket i Orust-Tjörnområdet är av samma karaktär som i norra Bohuslän med stor del vallodling, men precis som där är det antropogena bidraget från åkermarken stort. Via reningsverket Skansverket så kommer en relativt stor andel kväve (23 %) och fosfor (14 %). Enskilda avlopp bidrar med den minsta delen, för framförallt fosfor är det inte försumbara 8 % av den totala tillförseln (figur 28).

Askeröfjorden utanför Stenungsund ingår inte bland de mest belastade områdena, den totala tillförseln är 75 ton kväve/år och 4.5 ton fosfor/år. Men vi ser tydliga effekter av utsläppen från Stenungsund p.g.a. det dåliga vattenutbytet, med förekomster av snabbväxande makroalger, förhöjda koncentrationer av näringsämnen och klorofyll. Askeröfjorden gränsar till de än mer känsliga områdena Stigfjorden och Kalvöfjorden mellan Orust och Tjörn och det är därför intressant att titta på storlek och källfördelning av utsläppen till Askeröfjorden (figur 29).

I figur 29 syns att industrin är den största enskilda källan till näringsämnen och att även det kommunala reningsverket bidrar till en avsevärd del speciellt vad gäller kväve. Punktutsläppen bidrar tillsammans med över 50 % av både kväve- och fosfortillförseln och om den antropogena delen av jordbruket står för 8 % respektive 12 % av den totala tillförseln av kväve och fosfor.



Figur 28. Källfördelningen av tillförseln från land och atmosfär av a) kväve och b) fosfor till Byfjorden. Övrig öppen mark är t.ex. betesmarker, ängar och berg i dagen. Den totala tillförseln är 245 ton kväve/år och 8 ton fosfor/år. Beräkningar från SMED.



Figur 29. Källfördelningen av tillförseln från land och atmosfär av a) kväve och b) fosfor till Askeröfjorden utanför Stenungsund. Övrig öppen mark är t.ex. betesmarker, ängar och berg i dagen. Den totala tillförseln är 75 ton kväve/år och 4.5 ton fosfor/år. Beräkningar från SMED.

Byfjorden och Askeröfjorden är de kustvattenförekomster i Orust-Tjörns fjordsystem som mottar den största andelen kväve och fosfor från reningsverk och industri. I hela fjordsystemet bidrar många mindre vattendrag, var av flera mynnar i naturligt känsliga vikar med långsam vattenomsättning. Via vattendragen kommer näringsbidrag från markanvändning och enskilda avlopp. Punktutsläpp från ett 10-tal mindre reningsverk förutom Uddevalla och Stenungsund bidrar också till näringstillförseln.

Utifrån resultaten i våra fallstudieområden (Fjällbacka inre skärgård och Fjordsystemet innanför Orust och Tjörn) och den nationella rapporteringen (Naturvårdsverket 2006), gör vi en sammanfattning av näringsbelastningens storlek och åtgärder som kan minska belastningen på Bohusläns kustområden.

Tillförseln av fosfor och kväve från land och från atmosfären till havet i Bohuslän karaktäriseras av följande:

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

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

Fallstudien om Orust och Tjörn fjordsystem visar att kvävedepositionen från atmosfären på fjordarnas vattenytor kan utgöra en betydelsefull andel av det kväve som tillförs havet. För de tretton studerade fjordarna runt Tjörn och Orust utgör kvävenedfallet på de öppna havsytorna sammanlagt hela 22 % av den totala transporten till fjordarna från land och atmosfären. För fjordar med stora vattenytor och små tillrinningsområden kan t.o.m. luftnedfallet överstiga den transport som tillförs till den enskilda fjordens tillrinningsområde, så är fallet för Stigfjorden.

Kvävedepositionen från atmosfären är också delvis orsaken till det läckage som sker från skogen, från obrukad åker och från annan övrig mark. Vid miljöövervakningsstationen i Munkedal läcker skogen ca 4 kg/ha, således ca 30 % av kvävenedfallet över öppet fält på samma plats. Skogen i stort utgör således en kvävesänka. Med hjälp av SMED-data kan uppgifter fås om det kväve som läcker ut i samband med hyggesavverkning. I exemplet avrinningsområdet runt Tjörn och Orust utgör denna andel ca 9 % av det totala kväveläckaget från skogen.

Den antropogena delen av näringsläckaget från åkermark är stor i Bohuslän, särskilt gäller det förfosfor (figur 26-29). Det totala fosforläckaget till havet (efter retention) per arealsenhet åkermark är i Fjällbackaområdet 1,8 kg/ha (180 kg/km²) och år åkermark varav den antropogena delen utgör 1,2 kg/ha (bilaga A). I Orust-Tjörn området beräknas något lägre läckagesiffror, mellan 1,0 och 1,7 kg/ha och år i de flesta delavrinningsområden (bilaga A). Huvuddelen är liksom i Fjällbackaområdet ett antropogent bidrag. Förlusterna från svensk åkermark har beräknats till i genomsnitt 0,4 kg/ha och år. Variationen är mycket stor. Förlusterna varierar mellan 0,003 och 1,8 kg/ha och år (Jordbruksverket 2008). Därigenom tillhör Fjällbackaområdet de områdena i Sverige som har de största förlusterna från åkermark.

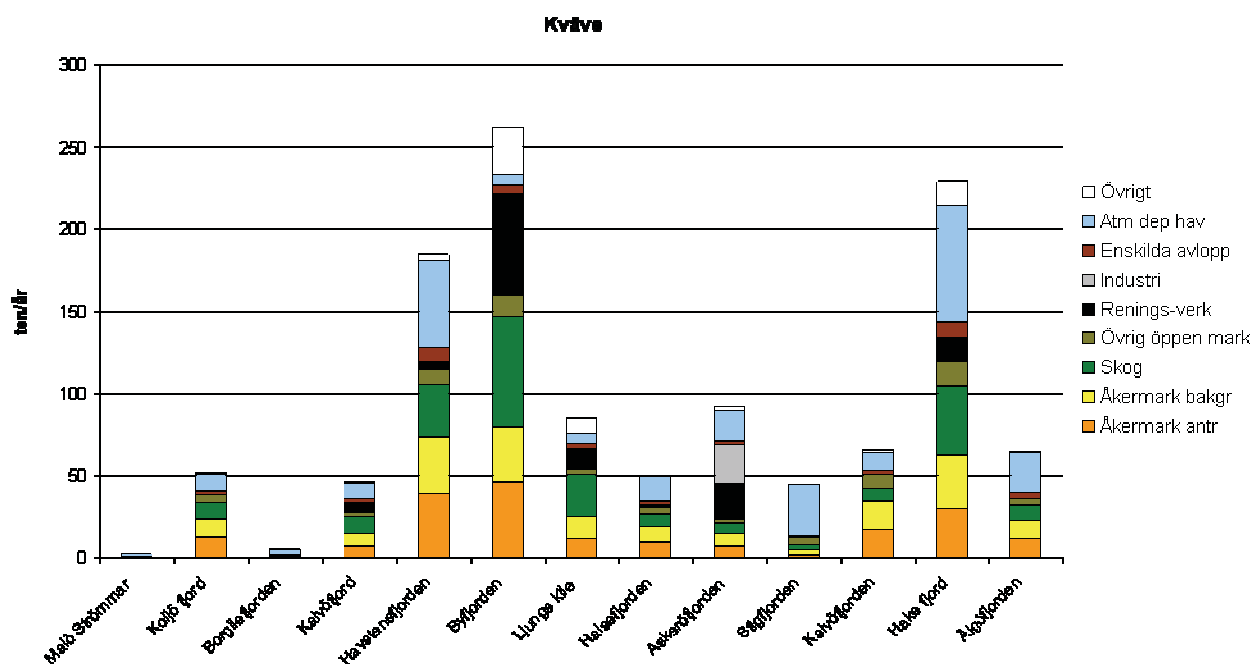
Det totala kväveläckaget till havet (efter retention) per arealsenhet åkermark är i Fjällbackaområdet 19,5 kg/ha (1950 kg/km²) och år åkermark varav den antropogena delen 12,1 kg/ha och år (bilaga A). I Orust-Tjörn området varierar kväveläckaget från åkermarken kraftigt mellan olika delavrinningsområden, de flesta har något lägre läckagesiffror jämfört med Fjällbackaområdet. Kustnära delavrinningsområden på Orust har t.ex. ett åkermarksläckage till havet av 14-16 kg/ha åkermark, varav den antropogena delen är något större än bakgrundsläckaget. Som jämförelse kan nämnas kväveläckage på 22 kg kväve/ha och år som under en femtonårsperiod har uppmätts i en bäck på västgötaslätten i ett jordbruksområde med nästan enbart åkermark. Detta kväve undergår dock en omfattande retention i

ett åssystem samt i Väneren innan det når havet, medan de resultat som omnämns för Bohuslän är det åkermarksläckage som når havet.

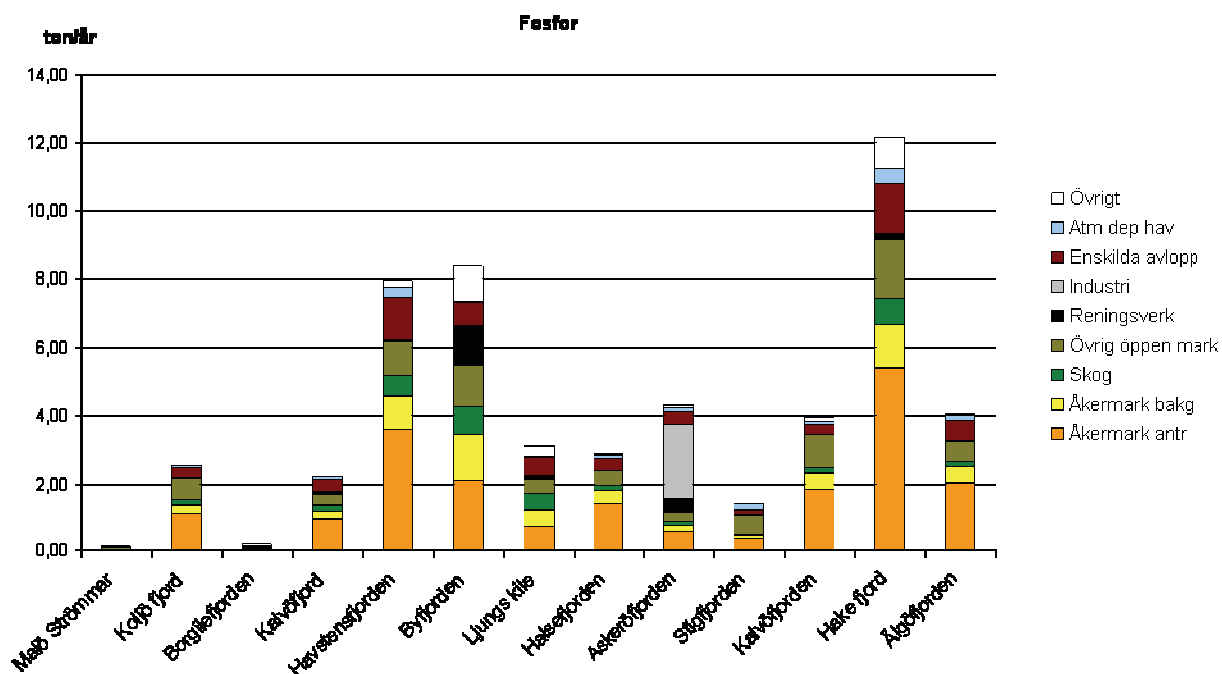
Det finns en generell trend i utvecklingen för transporten av fosfor och kväve i de mindre vattendragen som finns presenterad av Lageson et al (2005) vilken innebär att fosfortransporterna minskar i många vattendrag medan kvävetransporterna tenderar att öka. Dessa trender som gäller för många av vattendragen kan även konstateras fram till senaste sammanställningen som sträcker sig fram till år 2007. Även om fosfortransporten minskar är belastningen av fosfor fortsatt mycket hög i förhållande till kvävebelastningen. En låg N/P-kvot i vattendragen beror på mycket höga halter av fosfor, ofta uppemot 100 µg P/l eller högre i många vattendrag (Ruist 2008). Detta höga läckage kan varken jordbruket, som generellt bedrivs intensivt i Bohuslän, eller större punktkällor för fosfor förklara till fullo. Presenterade modelldata (bilaga A) underskattar belastningen av både fosfor och kväve men främst fosfor (se Fallstudierapporten, Erlandsson m.fl. (2009)) och den arealspecifika förlusten är ännu högre än vad som anges i figuren. Läckaget är jämförbart eller t.o.m. högre än den arealspecifika förlusten på Västgötaslätten och jordbruksområden längs Hallandskusten och i Skåne.

Det kan finnas många olika orsaker till detta höga läckage av fosfor. Avrinningen är troligtvis en av orsakerna då den är högst i landet längs västkusten (bortsett från fjällområdet), vilket leder till ett naturligt högre markläckage. Åkermarken är belägen nära havet och i dalgångar längs åar och bäckar. Det stora kvävenedfallet, åkermarkens närhet till havet och frånvaron av kustnära sjöar gör att kväve- och fosforretentionen är liten eller obefintlig. Lerhaltiga jordarna i dalgångarna blir föremål för erosion vid kraftig nederbörd och även erosionen från vattendragets stränder och omedelbara närområde och längs vattendragets botten kan vara en bidragande orsak till fosforläckaget. Detta styrks av att grumligheten i de flesta vattendragen är hög vilket antyder en stor andel partikulärt bunden fosfor. Tidigare gödsling under lång tid som varit ojämnt fördelad och även överdimensionerad kan ha byggt upp ett fosforlager i marken som också medför att markläckaget av fosfor från jordbruksmark fortfarande är högt.

I Bohuslän bedrivs ett aktivt jordbruk, med en huvudinriktning mot mjölkproduktion och köttdjursuppfödning, vilket avspeglar sig i att slåtter- och betesvallar upptar hela 56 % av åkerarealen i nio av tio kustkommuner (Strömstad, Tanum, Sotenäs, Lysekil, Uddevalla, Orust, Tjörn, Stenungsund och Kungälv). Ett liknande område med hög djurtäthet och vall som dominerar är Milsboåns avrinningsområde (Djodjic 2008). Markkartering visade att fosforinnehållet (både förråds- och växttillgängligt-P) varierade kraftigt inom det relativt lilla avrinningsområdet och troligtvis beror det på en ojämn gödsselfördelning under en lång tid tillbaks. Fosforinnehållet i marken i kombination med transportfaktorer som erosion (ett område med lätteroderade mjälajordar) och närheten till vatten har stor betydelse för den totala belastningen. Detta är ett exempel på hur viktigt det är att identifiera riskområden för fosforförluster för att effektivt kunna begränsa fosforbelastningen. Det är sannolikt att det finns många åkrar i Bohuslän som i dag läcker stora mängder fosfor p.g.a. den upplagring som sker i jorden då överoptimal gödsling tidigare skett och sker. Eftersom fosforläckaget varierar mycket stort lokalt sett är det viktigt att hitta de ”hotspots” som läcker mycket och begränsa dess transportfaktorer.



Figur 30. Nettobelastningen av kväve till fjordarna innanför Orust och Tjörn.



Figur 31. Nettobelastningen av fosfor till fjordarna innanför Orust och Tjörn.

I områden med stora hårdgjorda ytor nära havet, i t.ex. Stenungssund och Uddevalla, utgör kväveinnehållet i dagvattnet, som huvudsakligen härrör från kvävednfallet, ett betydelsefullt kvävetillskott till havet. För Uddevallas tätort har kvävemängden i dagvattnet beräknats till 11 ton per år (SMED data).

Stora punktutsläpp som kommunala reningsverk och industrier med direktutsläpp bidrar i vissa av de studerade områdena till väsentliga utsläpp till havet (figur 30 och 31).

De stora punktutsläppen har tillstånd enligt miljöbalken. Dock finns fortfarande större punktutsläpp för vilka kväverening borde utredas ytterligare.

Många enskilda avloppsanläggningar har en otillfredsställande rening vilket framgår av den statistik som redovisats av SMED (tabell 4). Det framgår också från tabellen att underlaget är osäkert och bättre underlag behöver tas fram.

Tabell 4. Enskilda avlopp per kommun, enkätsvar och uppgifter från SCB och redovisat av SMED

Kommunnamn	Antal enl. SCB	Antal enligt enkät	Andel infiltrations-Anläggningar %	Andel Markbädd %	Andel sluten tank %	Andel Slam-Avskilj. %	Andel BDT Rensbrunn/Stenkista %
Strömstad*	2959	4000	37,6	16,7	10,4	26,0	4,3
Tanum*	5392	4200	37,6	16,7	10,4	26,0	4,3
Sotenäs	1278	1000	18,0	42,0	32,0	40,0	3,0
Lysekil*	2716	3000	37,6	16,7	10,4	26,0	4,3
Uddevalla*	6292	3500	10,0	51,4	8,6	26,0	4,3
Orust	6428	6500	32,3	61,5	30,8	6,2	3,8
Tjörn**	4559		37,6	16,7	10,4	26,0	4,3
Stenungssund*	2888	3125	25,6	32,0	6,4	26,0	4,3
Kungälv*	5476	5500	9,1	25,5	8,2	26,0	4,3

* Bristfällig info från kommunen

** Ingen info från kommunen

I exempelvis avrinningsområdena runt Tjörn och Orust svarar belastningen från de enskilda avloppen för 12 och 4 % av den totala belastningen av fosfor respektive kväve till havet från land och atmosfär.

Åtgärder som sätts in för en minskad belastning av näringsämnen sker ofta i anslutning till vattendrag som är den huvudsakliga transportvägen för näringsämnen till havet. Många antropogena källor till fosfor och kväve är fraktionsspecifika, d.v.s. de släpper ut näring i en dominerande fraktion, t.ex. enskilda avlopp avger fosfor främst i form av fosfat-P Även olika åtgärder som våtmarker, vårbearbetning och skyddszoner är ofta mer effektiva på att minska vissa näringsformer mer än andra. För att få en högre upplösning på

vattenkemidatan och ett större underlagsmaterial vid planering av åtgärder och inte minst vid effektuppföljning av olika åtgärder är det därför viktigt att mätprogrammen inkluderar analys av de oorganiska lösta fraktionerna av fosfor och kväve (se även Ruist 2008) i högre utsträckning än vad som görs idag. Carlsson (2009) visar att det finns ett samband mellan både förekomsten och täckningsgraden av snabbväxande makroalger i grunda havsvikar och belastningen av de oorganiska lösta fraktionerna av kväve och fosfor från vattendragen.

Särskilt lämpligt är det troligen att inkludera fraktionsmätningar i vattendrag i mindre avrinningsområden med kort uppehållstid där åtgärderna tydligare kan påvisas av vattenkvaliteten. Där utnyttjas inte näringen lika effektivt som i ett stort vattensystem där näringsformerna under transporten omvandlas i mycket större utsträckning. Endast hälften av de kustmynnande vattendragen i Bohuslän som ingår i det regionala miljöövervakningsprogrammet analyseras fosfor- och kvävefraktioner.

5.3. Slutsatser

I norra och mellersta Bohuslän är det Idefjorden, Fjällbacka inre skärgård och Saltkällefjorden som finns med bland de 10 områden som mottar störst näringstransport från land. Relativt Göteborgsområdet och Halland och nordvästra Skåne är tillförseln relativt liten, men påverkar lokalt. Till Idefjorden kommer ett stort bidrag från Norge. Naringen som tillförs från land längs Bohuskusten fångas i den Baltiska strömmen och bidrar därför inte till utsjön, utan stannar kustnära.

Den inre skärgården framför allt i de norra delarna visar tydliga tecken på övergödning och kan karaktäriseras som övergödningsskänliga p.g.a. stora grundområden och det inestängda läget som ger ett långsamt vattenutbyte. Problemet är framförallt hög täckningsgrad av snabbväxande makroalger under sommarmånaderna. Det lokala bidraget av näring från land är en viktig orsak till förhållandena som har försämrats under de senaste årtiondena. Även regionala näringsbidrag som transporteras norrut i den Baltiska strömmen bidrar.

Byfjorden som ligger längst in i Orust-Tjörn fjordsystem ingår också bland de 10 de utpekade områdena vars näringstillförsel från land göder havet mest. Beräkningar visar en nettotransport ut ur fjordsystemet till kustvattnet. Ett annat område som tydligt bidrar till förhöjda närsaltskoncentrationer i fjordsystemet är avrinningsområdet till Askeröfjorden, där bl.a. Stenungsund ligger. Två tredjedelar av nettotransporten av näringsämnen går söder ut via Havstensfjorden och Hakefjorden, medan resterande går norröver via bl.a. Koljö fjord. Naringen bidrar framförallt till kustvattnet och en mycket liten del bidrar till utsjön.

Hela fjordsystemet kan karaktäriseras som ett känsligt område p.g.a. långa uppehållstider för både yt- och djupvattnet. Syrekoncentrationerna i djupvattnet i flera av tröskelfjordarna visar på mycket låga koncentrationer framförallt beroende på långa stagnationsperioder i djupvattnet. Koncentrationerna av både närsalter och klorofyll är förhöjda jämfört med kustvattnet utanför systemet. Modellberäkningar visar dock att även utan antropogen tillförsel skulle koncentrationerna i fjordsystemet vara förhöjda, men inte i lika hög grad. Återkopplingen till djupvattnet är tydligt i flera av fjordarna och tillförseln av näringsämnen från djupvattnet till ytvattnet är jämte färskvattentillförseln från land en viktig lokal källa till näringsämnen. Detta i kombination med långa uppehållstider för ytvattnet

gör att t.ex. djupinlagring av avloppsvatten inte är en bra lösning. Utbredningen av snabbväxande makroalger är generellt relativt liten i fjordsystemet främst beroende på djupförhållandena. Grunda områden förekommer framför allt längs Havstensfjordens östra kust, i Askeröfjorden, Halsefjorden, Stigfjorden och Kalvöfjorden och här har man också problem med snabbväxande makroalger.

En specialstudie av Fjällbacka inre skärgård och avrinningsområde som får representera norra Bohuslän visar att det med hänsyn till lokala förhållanden är möjligt att kunna reducera mängden antropogena näringsämnen med ca 19 % kväve och 36 % fosfor (se Fallstudierapporten Erlandsson m.fl. 2009). Det är framförallt åtgärder med att effektivisera reningsverk som ger resultat på kvävereduktionen, medan våtmarker och dammar är effektivast för att reducera fosfor. Detta innebär att 4 % av det antropogena bidraget av kväve från jordbruksmarken kan reduceras och 28 % av fosforbidraget med hjälp av de metoder som man tittat på i rapporten (skyddszon, dammar, våtmark). Med hårdare krav på enskilda avlopp kan man reducera tillförseln från dessa avsevärt. Motsvarande specialstudie på fjordarna innanför Orust och Tjörn visar på att källfördelningen av reduktionen av näringsämnen varierar stor mellan fjordarna i systemet och att vattenutbytet mellan fjordarna är mycket avgörande för effekterna av reduktionen (se Fallstudierapporten Erlandsson m.fl. (2009)).

I Bohuslän står markanvändningen generellt för en mycket stor del av näringsbidraget till havet och det är därför där åtgärder kan påverka mest. Men i vissa områden består markanvändningen av till största del av övrig mark vars bidrag får betraktas som naturliga samt förorsakas av kvävenedfall från atmosfären. Enskilda avlopp utgör generellt ett litet bidrag till den totala tillförseln, men i enskilda vikar kan en reduktion göra stor skillnad som ett exempel från Tjörn visar (se Fallstudierapporten Erlandsson m.fl. (2009)).

Det är ytterst angeläget att åtgärder vidtas internationellt för att minska kvävedepositionen från atmosfären samtidigt som åtgärder bör genomföras i det bohusländska jordbrukslandskapet för att begränsa det mycket stora antropogena fosforläckaget till havet att det är viktigt att identifiera riskområden för fosforförluster för att effektivt kunna begränsa fosforbelastningen. Det är sannolikt att det finns många åkrar i Bohuslän som i dag läcker stora mängder fosfor p.g.a. den upplagring som sker i jorden då överoptimal gödsling tidigare skett och sker. Eftersom fosforläckaget varierar mycket stort lokalt sett är det viktigt att hitta de ”hotspots” som läcker mycket och begränsa dess transportfaktorer. Åtgärder bör också sättas in för att minska det antropogena kväveläckaget från åkermarken till havet.

6. Göteborgsområdet

Göteborgsområdet definieras här som området söder om Marstrandsfjorden och Älgöfjorden och norr om Onsala kustvatten d.v.s. i höjd med Särö. Beskrivning och analyser i detta avsnitt är gjorda på skalnivån kustvattenförekomst och del av kustvattenförekomst (vik).

6.1. Tillståndet i kustvattnet

Vattenutbyte & Hydrografi

En grov uppskattning av det område som påverkas av utflödet från Göta älvs båda grenar är skärgårdsområdet från Valö i Göteborgs södra skärgård t.o.m. Åstol i Marstrandsfjorden norr om Göteborg (Rydberg 2008), se figur 10. Den största delen av älvvattnet går norröver.

I anslutning till älvarnas utlopp är vattenutbytet bra i Göteborgsområdet. Nordre älv mynnar i den relativt öppna Nordre älvs fjord innanför i det öppna kustområdet Sälöfjorden. Kuststräckan strax norr om Nordre älvs mynningsområde är mer instängt och längs fastlandet är det mycket grunt. Stationen Instö ränna representerar det vatten som flödar norrut längst fastlandet innanför Marstrandsarkipelagen. Göta älv mynnar i Rivö fjord innanför Danafjord som också är öppna ut mot havet och med bra vattenutbyte. I området mellan älvmyningarna ligger Göteborg norra skärgård (figur 34) som består av ett antal väl separerade öar och vattenutbytet mellan dessa är troligen bra. Undantaget är det grunda och trånga sundet/viken mellan Öckerö och Hönö.

Tabell 5. Mätstationerna och i vilken vattenförekomst de är belägna. Se figur 10 för position. I tabellen anges även längden på observationsserierna och vinterkvoten mellan organiskt kväve (DIN) och oorganiskt fosfor (DIP) vid de olika stationerna. Datakälla: Bohuskustens vattenvårdsförbund och Hallands kustkontrollprogram.

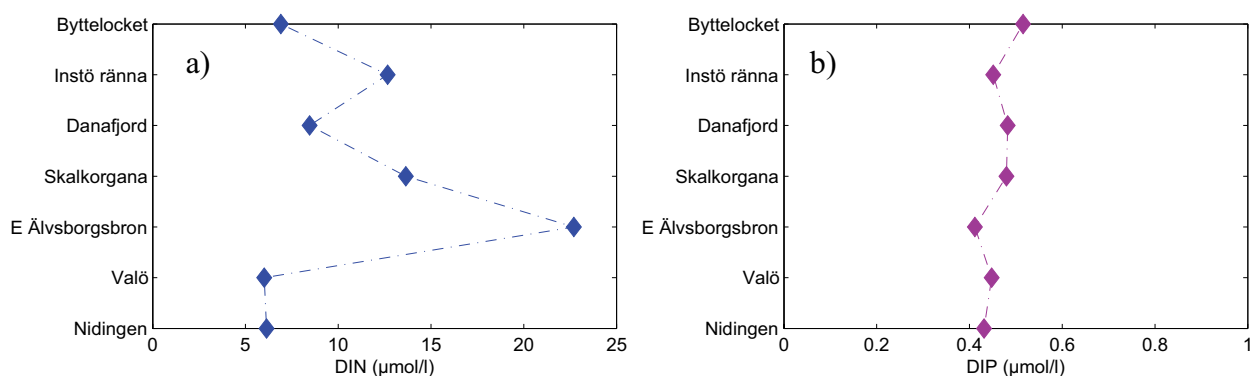
Namn	Bytte- locket	Instö ränna	Dana fjord	Skal- korgarna	E Älvsborgs- bron	Valö	Nidin gen
Kustv. förekom.	Kungs- hamns skärgård	Älgö- fjorden	Dana fjord	Rivö fjord	Rivö fjord (inre gränsen)	Onsala Kustv.	Gbg s skärg årds kustv.
Observ. period	85-07	85-07	85-07	85-07	95-07	85-07	95-07
DIN/DIP	13.4	28.1	17.5	28.4	55.1	13.4	14.2

Söder om Göta älvs utlopp i Göteborgs hamn ligger Göteborgs södra skärgård som är av en något annorlunda karaktär med ett antal öar som ligger tätt samlade och stora områden mellan dessa öar är grunda. Vattenutbytet är därför sämre i dessa delar av södra skärgården. Längs fastlandet söder om Göteborg är också

vattenutbytet bitvis begränsat p.g.a. av många små öar, även här hittat man stora grundområden i Askimsviken och kring Amundön.

För att jämföra koncentrationen av näringsämnen i ytvattnet i Göteborgsområdet används stationerna som är beskrivna i tabell 4. Mätstationerna Byttelocket och Nidingen tillhör områden norr respektive söder om det vi här definierar som Göteborgsområdet, se stationskartan i figur 10.

Vinterkoncentrationen av kväve är tydligt förhöjd (figur 32 a). Framförallt är det koncentrationerna av kväve i Nordre älvs och Göta älvs mynningsområden som enligt observationer har förhöjda värden. Speciellt gäller det vid station Älvsborgsbron, men där är det en mycket stor andel älvvatten som är orsaken till de högre halterna. Vid Instö ränna och Skalkorgarna som representerar de två mynningsområdena ligger vinterkoncentrationerna av DIN på över 10 $\mu\text{mol/l}$. Dana fjord något längre ut i i Göta älvs mynningsområde visar på något lägre halter (8,5 $\mu\text{mol/l}$) men högre än Valö, Nidingen och Byttelocket som ligger runt 6 $\mu\text{mol/l}$. Vinterkoncentrationen minskar alltså i de yttre kustområdena norr och söder om Göteborg.



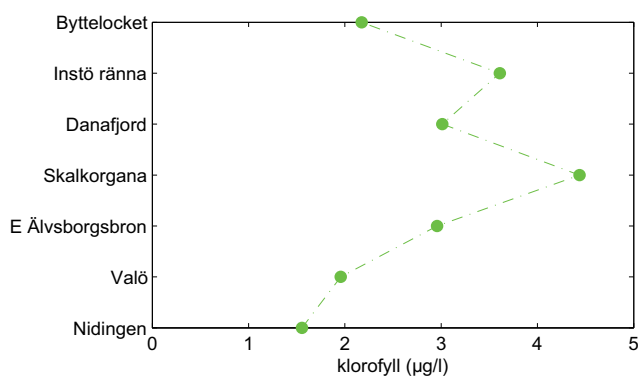
Figur 32. Medelvinterkoncentrationen (dec-jan) av a) oorganiskt kväve (DIN) och b) oorganiskt fosfor (DIP) i ytvattnet (0-10 m).

Det är inga eller mycket små skillnader i fosforkoncentrationerna mellan de olika stationerna, där den nordligaste stationen Byttelocket längre norr ut i Bohuslän visar den högsta medelvinterkoncentrationen i ytvattnet (figur 32). Fosforbudgeten i Göteborgsområdet domineras av tillförseln från Kattegatt (Rydberg 2008).

Beräkningar av vinterkoncentrationerna av oorganisk kväve (DIN) och oorganisk fosfor (DIP) i Göteborgsområdet med SMHI:s kustzonsmodell visar också förhöjda koncentrationer i Göteborgsområdet. Modellen beräknar att det är höga koncentrationer i Asperöfjorden i Göteborgs södra skärgård där vi inte har några observationer och som beskrivits ovan som ett delvis grunt område med begränsat vattenutbyte.

Koncentrationerna av ammonium har tydligt minskat i området utanför Göteborg efter det att kväverening infördes i reningsverket Ryaverket (1994-97) (Rydberg 2008). Även fosforkoncentrationen har minskat under senare år trots att tillförseln från land eller reningsverk inte ändrats under perioden (fosforreningen infördes 1982-84). Minskningen syns både i yt- och djupvatten och kan kopplas till en generell minskning i Kattegatt som bl a. troligen beror på ökad rening av fosfor i

danska reningsverk (Rasmussen et al. 2003), men också av variationer i utflödet från Östersjön (se avsnitt 4). Tillförseln från reningsverket utgör en mindre del av vad som tillförs via älven. Den dominerande kväveföreningen i älvvattnet är nitrat medan vattnet från Ryaverket i den södra grenens mynning i Göteborgs hamn karaktäriseras av höga ammoniumhalter. Dessa egenskaper gör att avloppsvattnet tydligt kan spåras i Nordre älvs fjord och Instö ränna under vintern (se figur 34). Under sommaren är signalen svagare. Att man kan spåra avloppsvattnet så pass långt norrut från utsläppspunkten i Göteborgs strax utanför Älvsborgsbron tyder på dålig initialblandning och att det mest avloppsvattnet går norrut innanför Göteborgs norra skärgård (Rydberg 2008).



Figur 33. Medelklorofyllkoncentrationen (juni-aug) i ytvattnet (0-10 m) vid stationerna i tabell 7.

Kvoten mellan kväve och fosfor är mycket hög i Göta älv och i den norra förgreningen Nordre älv. Transporten av kväve från land är alltså betydligt större än fosfortransporten. Utsläppen av fosfor från Göta älvs båda grenar är relativt små i jämförelse med tillförseln från havet (ca 1/3), vilket också tidigare konstaterats genom de olika utredningarna angående en ytterligare ökad rening av fosfor från Ryaverket (Rydberg 2005, DHI 2005, NIVA 2005). I Rivöfjorden och norr om Nordre älv fjord, alltså vid de stationer som får representera förhållandena i mynningsområdena är vinterkvoterna mellan oorganiskt kväve och fosfor höga och kvoterna speglar den stora tillförseln av kväve till områdena. Norr och söder om minskar kvoterna med den minskade kvävekoncentrationen i ytvattnet som vi diskuterat ovan.

Enligt DHI (2005) är station Älvsborgsbron ljusbegränsad under hela året. Att stationen inte visar på de högsta koncentrationerna av klorofyll trots höga näringskoncentrationer beror troligen även på den för både marina och limniska växtplankton ogynnsamma salthalten. Förhöjda näringskoncentrationer i anslutning till älvarnas utlopp speglas i ökade koncentrationer av växtplankton i ytvattnet under sommarmånaderna. Primärproduktionen vid station Skalkorgana är fosforbegränsad p.g.a. den förhållandevis stora tillförseln av kväve. Station Dana fjord längre ut är också fosforbegränsad under största tiden men under perioder kan produktionen vara kvävebegränsad.

Fosforreduktionen på 1980-talet resulterade i en tydlig reduktion av klorofyllkoncentrationen i Göteborgsområdet, medan kväve reduktionen inte gav en lika tydlig respons i mängden växtplankton. Under senare år (>2000) har dock klorofyllkoncentrationen minskat något mot tidigare (Rydberg 2008). För en mer

detaljerad genomgång av effekterna på kustvattnet runt Göteborg av Göta älv och Ryaverket rekommenderas Rydberg (2008) och referenser däri.



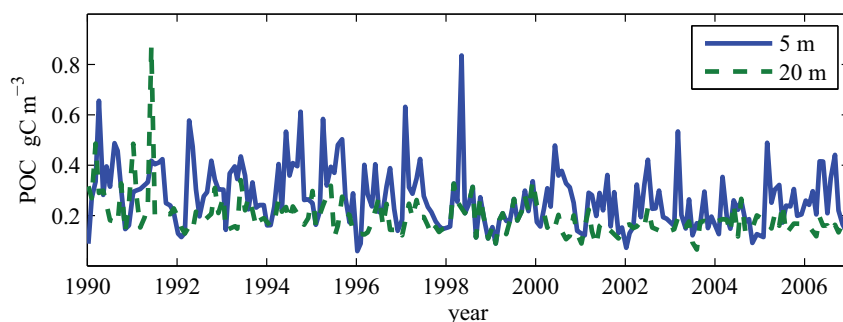
Transportberäkningar gjorda med SMH:s kustzonsmodell visar att det är en mindre del av näringstransporten från Göta älv som går söderut till Göteborgs södra skärgård. Den lokala sänkan av näringsämnen (nettosedimentation och denitrifikation) är liten i Göteborgsområdet och största delen av näringstransporten följer kustlinjen norrut. En liten del av älvvattnet bidrar till transporten av både vatten och näringsämnen i fjordsystemet innanför Orust och Tjörn. Björk et al. (2000) uppskattar att endast 3 % av älvvattnet tar vägen innanför Orust och Tjörn. Den absolut största delen av älvens bidrag går på utsidan av Orust och Tjörn. Jordrotationen har i höjd med Göteborg kopplat ett tydligt grepp om den Baltiska strömmen som håller sig till kusten. Kopplingen till utsjön är därför inte så stark, men ca 10 % av näringstransporten från älven går ut i öppna Kattegatt enligt SMHI:s kustzonmodell.

Figur 34. Nettotransporten av näringsämnen i Göteborgsområdet.

Från salthalten kan mängden älvvatten uppskattas vid de olika stationerna. Vid E Älvsborgsbron utgörs ca 75 % av ytvattnet av älvvatten, längre ut minskar bidraget och är vid Skalkorgarna ca 25 % och i vid station Dana fjord ca 10 %. Vid Rävungarna (gammal station) i Nordre älv fjord utgör älvvattnet ca 30% av ytvattnet och minskar till ca 20 % vid Instö ränna. Vid station Åstol ute i Marstrandfjorden är älven bidrag mindre än 10 % av ytvattnet (Rydberg 2008).

Organiskt material & syreförhållanden

Salthaltssprångskiktet som separerar det mindre salta Kattegattvattnet (15-30 psu) från det saltare Skagerrakvattnet (30-35 psu) är skarpare utanför Göteborg än längre norrut. Det beror delvis på att ytvattnet blir saltare längre norrut p.g.a. av inblandning av Skagerrakvatten, men även älvvattnet bidrar till att sänka salthalten och skärpa skiktningen då det genom vindomblandning späder ytskiktet utanför Göteborg. Detta till trots kan man konstatera att koncentrationen av POC vid 20 m djup under språngskiktet vid Danafjord i figur 35 är betydligt större än t.ex. i Havstensfjorden innanför Orust (figur 23), trots att koncentrationen i ytvattnet (5 m) är betydligt högre i Havstensfjorden än i Danafjord.



Figur 35. Observationer av POC koncentrationen vid station Danafjord från 1990 till 2007. Observationer på 5 m och 20 m djup

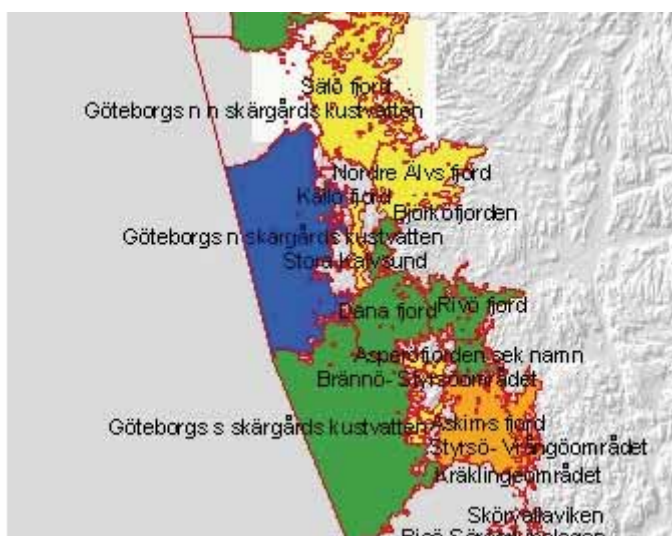
Det är alltså en starkare koppling mellan hur mycket POC som finns i ytvattnet och hur mycket som finns i vattenmassan under språngskiktet. Vår tolkning är att mycket av det organiska material som sedimenterar i Danafjord utanför Göta älvs mynningsområde består av partiklar från älvvattnet med en potentiellt högre sedimentationshastighet än lokalt producerat POC. Ytterligare en förklaring kan vara det oskyddade, turbulenta förhållandena ute på Dana fjord som kan resultera i en ökad sammanslagning av produktionen och bildande av större aggregat, och som följd av det en högre sedimentationshastighet (se t.ex. Kiørboe et al. 1994).

Enligt observationer har bassängerna en relativt bra syretillgång i djupvattnet. Som lägst under hösten är koncentrationen 3-4 ml/l trots en hög näringstillförsel och hög halt av partikulärt material som är syrekonsumerande. Det finns ingen trend i syrekoncentrationen i djupvattnet (Rydberg 2008).

Snabbväxande makroalger

Inom BVVF kontrollprogram har observationer av snabbväxande makroalger i grunda vikar gjorts genom flygfotografering över bl.a. Göteborgsområdet under de senaste 10 åren. Utifrån dessa data har sedan en bedömning av vattenförkomsters status med avseende utbredning av snabbväxande makroalger under perioden 1998-2007 gjorts. Kartläggningen pekar ut Göteborgs södra skärgård som ett område med otillfredsställande status (figur 36). Den hydrografistation som närmast är representativ för detta område är Valö. Valö ligger i den yttre sydliga delen av området och visar inte några förhöjda näringskoncentrationer i jämförelse med kuststationerna Nidingen i söder och Byttelocket i norr. Kuststräckan längs fastlandet i området kring Amundön karaktäriseras av många mindre öar och delvis grunda områden. Dana fjord och Rivö fjord har god status med få förekomster av snabbväxande makroalger, däremot är det måttlig status strax norr om sundet mellan Hönö-Öckerö och Björkö i Nordre älvs fjord, och i det grunda kustnära området norr om Nordre älvs fjord. Längre ut i Göteborgs norra skärgårdsvatten är statusen god.

Intervju med kommunerna visar att i Kungälv kommun försäkras vägbanken mellan Nordön och Vrångholmen (vid Instö ränna) en försämrad vattenomsättning och tillväxt av grönalger. I Göteborgs kommun nämns Hagakile vid Billdal som ett problemområde. Billdal tillhör det området i längs kusten söder om Göteborg som genom flygfotografering pekas ut som särskilt drabbat.

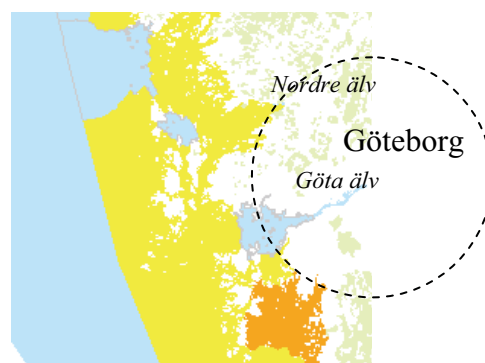


Figur 36. Bedömning av snabbväxande makroalgers påverkan på vattenförekomstens status, baserat på data från BVVF kontrollprogram 1998-2007. blå – mycket god; grönt – god; gul – måttlig; orange – otillfredställande; röd – dålig

Övergödningskänsliga områden

Baserat på indikatorerna för övergödning som använts här är hela Göteborgsområdet utpekad (figur 37). Området utanför Göteborg i anslutning till Göta älv som är gulmarkerade i figur 37 är inte speciellt övergödningskänsligt men visar tecken på påverkan p.g.a. den stora näringstillförseln. Däremot visar figuren att kuststräckan söder om Göteborg är ett känsligt område.

Det som karakteriserar området är stora grundområden och en viss begränsning i vattenutbytet. Mindre vattendrag bidrar lokalt med näring till kuststräckan. Den indikator som ger störst utslag är täckningsgrad av fintrådiga alger. Området är känsligt för lokal näringstillförsel, men även för den regionala tillförseln.

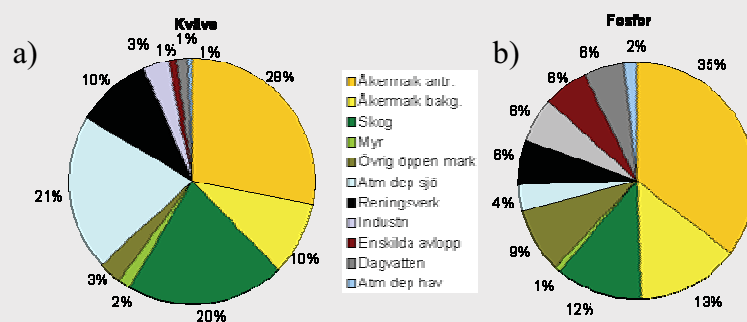


Figur 37. Övergödningskänsliga områden enligt utvalda indikatorer i norra respektive södra delen av västerhavsdistriktet. **Rött**-mycket övergödningskänsligt. **Orange**-klart övergödningskänsligt. **Gult**-måttligt övergödningskänsligt.

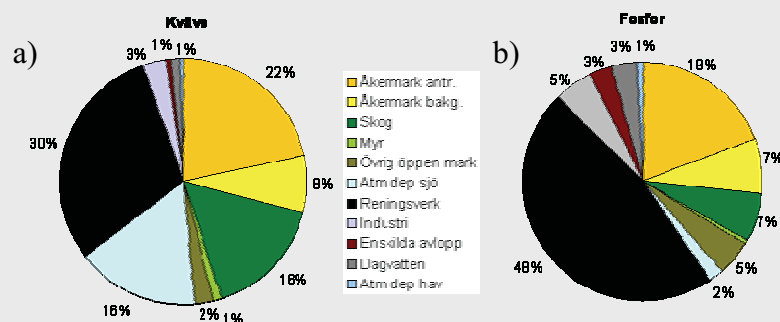
6.2. Belastning från land och atmosfär

Göteborgsområdet är den kuststräcka som via Göta älv och dess norra förgrening Nordre älv har störst tillförsel av näringsämnen. Göta älv och Nordre älv har alltså i det närmaste samma avrinningsområde. Avrinningsområdet som avvattnas är mycket stort och inkluderar områdena runt hela Vänern och nedströms Vänern. Koncentrationen av näringsämnen och källfördelningen i Göta älv bestäms till största del av det vatten som lämnar Vänern (figur 38). Kvoten mellan tillförd kväve och fosfor är enligt modellen 61 och 58 för Nordre älv respektive Göta älv, och visar på en stor tillförsel av kväve i jämförelse med fosfor som i högre utsträckning fastläggs i Vänern.

Den största delen som tillförs havet kommer via Nordre Älv (se figur 2). Ungefär 30 % av flödet i Göta älv leds via den södra grenen och mynnar i Göteborgs hamn. Regleringen sker genom en ”dämningslucka” i den norra grenen. Ett minsta flöde på 120 m³/s krävs i den södra grenen för att hindra havsvatten från att nå dricksvattenintaget vid Alelyckan. Av den totala tillförseln på 5723 ton kväve och 120 ton fosfor per år som tillförs via den södra Göta älvgrenen är 28 % respektive 40 % från reningsverken.



Figur 38 Fördelningen av belastningen av a) Total kväve (totalt 10 600 ton/år) och b) Total fosfor (totalt 174 ton/år) till Nordre älvs fjord . Övrig öppen mark är t.ex. betesmarker, ängar och berg i dagen.



Figur 39 Fördelningen av belastningen av a) Total kväve (totalt 5 724 ton/år) och b) Total fosfor (totalt 120 ton/år) till Rivö fjord . Övrig öppen mark är t.ex. betesmarker, ängar och berg i dagen.

Tillförseln av näringsämnen till havet reducerades betydligt genom byggandet av reningsverket (1972). En ökad fosfor rening infördes 1982-84, och en ökad kväverening infördes 1994-97. Reningsverket har en reningsgrad på 60 % och 90 % för kväve respektive fosfor. Ytterligare ökad fosfor rening kommer att införas. Det stora bidraget av fosfor från reningsverkets avloppsvatten indikerar att en

effektivare rening skulle innebära en tydlig minskning av utsläppen till havet. Arbete med att öka reningsgraden pågår. Effekterna i havet är dock omdiskuterat eftersom vattenutbytet är bra i Rivö fjord och tillförseln av fosfor från Kattegatt dominerar fosforbudgeten (Rydberg 2005, DHI 2005, NIVA 2005).

I övrigt så är jordbruket, skogen och annan öppen mark viktiga källor till kväve och fosforläckage till havet (figur 38 och 39). Övrig öppen mark är t.ex. betesmarker, ängar och berg i dagen. En detaljerad genomgång av transporter och retention av näringsämnen inom Göta älvs avrinningsområde finns i rapporten ”Kväve & fosfor till Vänern och Västerhavet” (Sonesten m.fl. 2004). Åtgärder i hela avrinningsområdet är viktiga för transporten i Göta älv. Det stora bidraget från deposition på sjö kommer sig av Väterns stora yta. Åtgärder för att minska kvävenedfallet är därmed viktiga för tillförseln av framförallt kväve till Västerhavet.

6.3. Slutsats

Göteborgsområdet är delvis ett relativt okänsligt område p.g.a. av det effektiva vattenutbytet med utsjön. Trots det har vi förhöjda koncentrationer av kväve i havet närmast mynningsområdena, som dock avtar i kustvattnet både åt norr och åt söder. Tillförseln av kväve via Göta älvs båda grenar är mycket stor och en tydlig effekt av detta ses i havsområdet utanför älvarnas mynningsområden både i vinterkoncentrationen av näringsämnen (figur 32) och sommarkoncentrationen av klorofyll (figur 33). I de grundare och mer känsliga områdena norr och söder om älvarnas mynningsområden är frekvensen av snabbväxande makroalger större än i själva mynningsområdet där vattenomsättningen är god. En mindre del av näringstransporten från Göta älvs båda grenar transporterats vidare in i fjordsystemet innanför Orust och Tjörn och som pekas ut som ett känsligt område för övergödning. Åtgärds paket bör tas fram för hela avrinningsområdet och inrikta sig på framförallt jordbruket som ger det största bidraget. Observationer visar att avloppsvattnet från Ryaverket transporteras ofta relativt oblandat norrut i Göteborgs norra skärgård p.g.a. dålig initialblandning. En effektivare initialblandning av avloppsvattnet bör övervägas.

7. Halland- och Skånekusten

Här behandlas området från Onsalahalvön och Kungsbackafjorden i norr, ner till och med Skälderviken i söder. Morfologin längs kusten med mer inestängda skärgård i den norra delen och stora öppna vikar i den södra delen gör att vi i detta avsnitt delar upp Hallands- och nordvästra Skånekusten ytterligare i en nordlig del ner till Varberg som inkluderar Kungsbacka fjorden och Klosterfjorden, och en sydlig del söder om Varberg där Laholmsbukten och Skälderviken ingår.

7.1. Tillståndet i kustvattnet

Vattenutbyte & Hydrografi

Kungsbackafjorden och Klosterfjorden i norr har inga trösklar och därmed inget bottenvatten som är stagnant under längre perioder, men vattenutbytet är något begränsat. Både Kungsbackafjorden och Klosterfjorden har stora grundområden i de inre delarna (<1m).

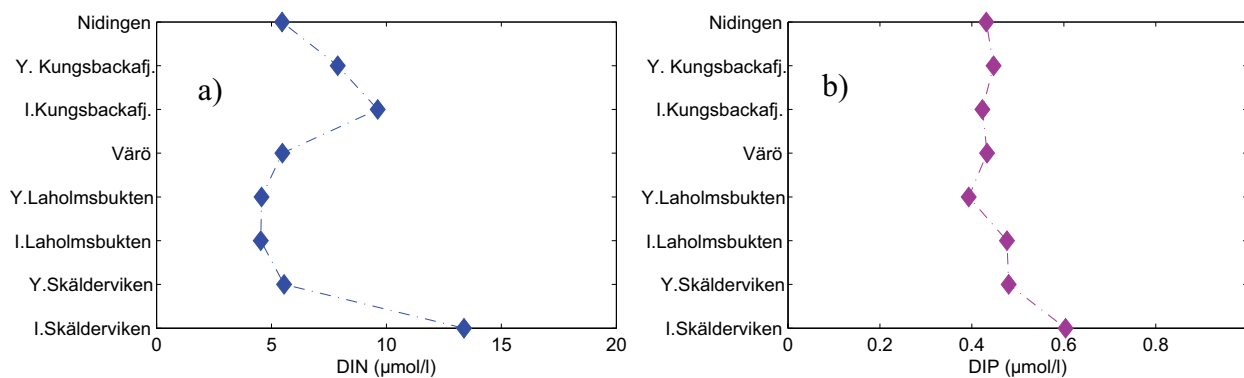
Tabell 6. Mätstationerna och i vilken vattenförekomst de är belägna. Se figur 10 för position. I tabellen anges även längden på observationsserierna och vinterkvoten mellan oorganiskt kväve (DIN) och oorganiskt fosfor (DIP) vid de olika stationerna. Datakälla: Hallands kustvattenkontrollprogram.

Namn	Nid- ingen	Y Kungs- backa fjorden	I Kungs- backa fjorden	Värö	Y Laholms- bukten	I Laholms- bukten	Y Skälder- viken	I Skälder- viken
Kustv. förekom.	Nm Halland kustv.	Y Kungs- backa- fjorden	I Kungs- backa- fjorden	Nm Hall. Kustv	Laholms- bukten	Laholms- bukten	Skälder- viken	Skälder- viken
Observ. period	93-07	93-07	93-07	93-07	93-07	97-07	95-07	97-07
Vinter DIN/DIP	13	18	23	13	12	10	12	22

I södra delen av kusten är förhållandena annorlunda med oskyddad kust och stora vikar som tillåter ett effektivt utbyte av vatten i ytan. Medeldjupet i sydöstra Kattegatt är 20 meter och salthaltssprångskiktet ligger på ca 15 m men varierar i vertikalled. Skiktningen är skarp i Kattegatt och det krävs mer energi för att skapa omblandning i vattenmassan under språngskiktet. Under perioder då språngskiktet ligger några meter ovan botten kan det tidvis uppstå mycket låga syrekoncentrationer i djupvattnet. Det beror på en liten volym bottenvatten och därför också dålig syretillgång för nedbrytning av organiskt material, vilket tydligt påverkar bottenfaunan (Magusson 2009). I bl.a. Laholmsbukten finns väl dokumenterade tillfällen med syrebrist i bottenvattnet (t.ex. Baden et al. 1990). Uppehållstiden för Kattegatts ytvatten är 1-2 månader (Stigebrandt 1983, Rydberg 1983). Djupvattnet uppehållstid är 1-4 månader (Rydberg och Sundberg 1984).

Kuststationerna längst Hallandskusten från Kungsbackafjorden ner till Skälderviken visar på ökande trender för totalfosfor och ingen trend för fosfat, medan både totalkväve och oorganiskt kväve ($\text{NO}_2, \text{NO}_3, \text{NH}_4$) visar negativa trender (SMHI 2007). De kustnära vattnen i Halland och nordvästra Skåne visar alltså på en något annan utveckling än utsjön när det gäller framförallt fosfor.

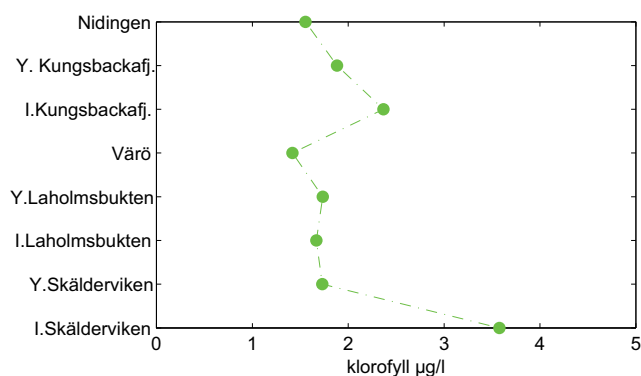
I norra Halland är medelvinterkoncentrationen av oorganiskt kväve (DIN) i ytvattnet (0-10 m) förhöjda i både yttre och inre Kungsbackafjorden jämfört med kustvattenstationerna Nidingen och Värö (figur 40 a). Det indikerar en tydlig påverkan av landtillförseln av framförallt kväve. Tyvärr finns ingen station ute i Klosterfjorden. Station Värö representerar kustvattnet utanför Klosterfjorden. Kuststationerna i norra Halland och stationerna i Laholmsbukten visar ungefär samma vinterkoncentrationer, men inne vid station Inre Skälderviken är koncentrationen av oorganisk kväve kraftigt förhöjd (se figur 40 a). Stationen ligger i nära anslutning till Rönne å mynning och data visar att mycket höga koncentrationer av näringsämnen förekommer vid ett flertal tillfällen vilket höjer medelvärdena. Station Inre Laholmsbukten ligger längre ut i bukten och är inte lika påverkad av landtillförseln som den inre stationen i Skälderviken.



Figur 40. Vintermedelkoncentrationen (dec-jan) av a) oorganisk kväve (DIN) och b) oorganisk fosfor (DIP) i ytvattnet (0-10 m) vid stationerna i längs Halland och nordvästra Skånes kust (se tabell 8).

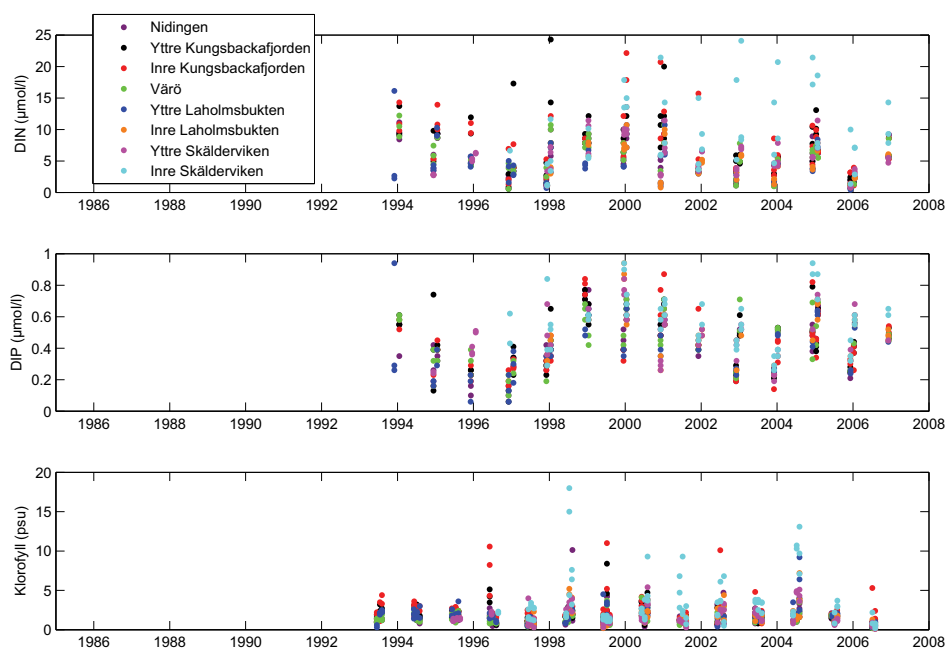
Observationsserierna av oorganisk fosfor (DIP) visar att koncentrationen i ytvattnet är relativt lika längst den norra delen av Hallandskusten, minskar något i Yttre Laholmsbukten och är tydligt högre vid station Inre Laholmsbukten och vid båda stationerna i Skälderviken, speciellt vid den inre stationen (figur 40 b). Vattnet som strömmar ut ur Östersjön har ungefär samma koncentration av kväve som kustvattnet längre norrut längs hallandskusten, men observationer i södra Kattegatt vid Anholt visar att fosfatkoncentrationen i medel under december till januari är $0.53 \mu\text{mol/l}$. Observationerna vid Anholt indikerar att det troligen är det utflödande Östersjövattnet som är orsaken till de förhöjda koncentrationerna, men vid Inre Skälderviken är koncentrationen än högre vilket indikerar att ytterligare källor till oorganisk fosfor påverkar koncentrationen i den inre delen av viken. Vi kan alltså säga att framförallt Kungsbackafjorden och Skälderviken påverkas av näringstillförseln från land. I Klosterfjorden har vi inga mätningar ute i fjorden, men än Viskan tillför stora mängder näring till fjorden. Den inre stationen i Laholmsbukten är längre från land än den mycket grunda inre stationen i

Skälderviken, och man kan nog anta att även den innersta delen av Laholmsbukten har en tydlig påverkan av näringsämnen från land.



Figur 41.
Medelklorofyllkoncentrationen (juni-aug) för stationerna i längs Halland och nordvästra Skånes kust (se tabell 6).

Den högre koncentrationen av fosfor i Östersjövattnet innebär att DIN/DIP-kvoten är lägre i södra Kattegatt (ca 10) och alltså betydligt lägre än Redfields ratio som är 16 (tabell 6). Med en kvot under 16 kan man anta att både den pelagiska vårproduktionen och möjligen även produktionen av snabbväxande makroalger är kvävebegränsad. I grunda områden kan utbytet av näringsämnen mellan sediment och vatten spela en viktig roll. Även ett lokalt bidrag från vattendrag kan vara viktigt och det är därför svårt att utifrån näringskvoter i djupare områden avgöra vilket näringsämne som begränsar produktionen av snabbväxande makroalger mer strandnära.



Figur 42. a) Vintervärden (dec-jan) av näringskoncentrationer från 0-10 m djup. a) oorganisk kväve (DIN), b) oorganisk fosfor (DIP), c) Sommarvärden (juni-aug) av klorofyll från 0-10 m djup. Observationerna visas för stationerna i tabell 6.

I figur 41 ses tydligt förhöjda medelkoncentrationer av klorofyll i framförallt inre delen av Kungsbackafjorden och Skälderviken som en trolig effekt av de högre koncentrationerna av näringsämnen som diskuterats ovan. Kustvattenstationerna Nidingen och Värö som representerar kustvattnet längs norra Hallandskusten, har lägst koncentrationer. Övriga stationer har endast något förhöjda värden.

Den variation över tid i vinterkoncentrationer av oorganisk fosfor som visats tidigare för Skagerrak och Kattegatt (se figur 13) syns även tydligt i figur 42 b. Cykeln på ca 7 år finns även i observationsserien för den starkt landpåverkade Inre Skälderviken.

Det är ingen hög retention av näringsämnen längs Hallands och nordvästra Skånes



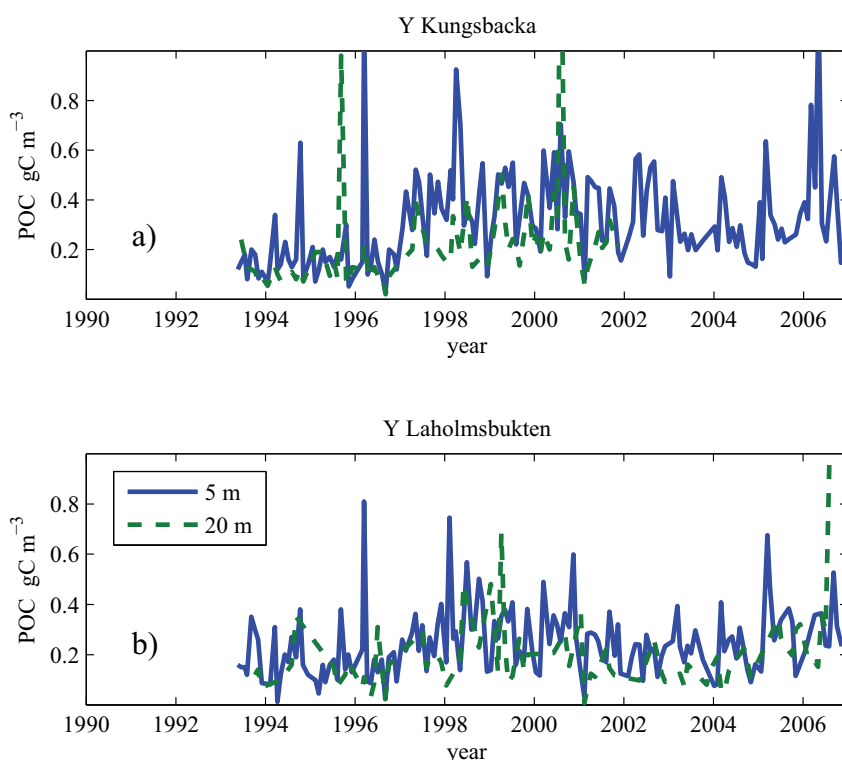
kust. Det beror på kuststräckans öppna karaktär. Resultat från SMHI:s kustzonsmodell indikerar att jämfört med mängden tillförd näring från land så försvinner ca 10 % av den mängden genom lokala sänkor i Laholmsbukten (nettosedimentation och denitrifikation), och samma gäller för Skälderviken. Den Baltiska strömmen är inte välutvecklad i södra Kattegatt och modellen antyder att 50 % till 80 % av näringstransporten går vidare ut i öppna Kattegatt. Resterande går norrut längs kusten (figur 43).

Klosterfjorden har en stor näringstillförsel till ett litet område och fjorden exporterar enligt modellen i princip all näring vidare ut ur fjorden. Något längre norr ut i Kungsbackafjorden är retentionen av näringsämnen bättre, men jämfört med mängden som tillförs från land bortförs motsvarande ca 15 % av den mängden lokalt i fjorden, resten exporteras till kustvattnet utanför. Kopplingen mellan kustvattnet och utsjön är sämre än längre söderut och ca 70 % av näringen i kustvattnet utanför norra Hallands kust strömmar vidare norrut längst kusten enligt modellen. En mindre del bidrar till utsjön i Kattegatt.

Figur 43. Nettotransporten av näringsämnen längs Halland och nordvästra Skånes kust.

Organiskt material & syreförhållanden

Observationer av partikulärt organiskt material är gjord vid samtliga stationer men med olika frekvens och under olika tidsperioder. En del observationsserier är korta och framförallt är frekvensen av observationer i vattenmassan under språngskiktet betydligt mindre frekvent än observationerna i ytvattnet. De två stationer med de bästa mätserierna är Yttre Kungsbackafjorden och Yttre Laholmsbukten (figur 44 a och b). Dessa två mätserier får därför representera den norra och södra delen av Hallandskusten. De sträckande 20 m linjerna är observationer av POC från mer än 15 meters djup under språngskiktet och de blå är från 5 m djup. Djupet vid båda stationerna är bara något över 20 meter vilket möjligen påverkar koncentrationen av POC som ses i figurerna.



Figur 44. Koncentrationen av POC på 5 m djup och 20 m djup (>15 m) vid station a) Yttre Kungsbacka fjorden och b) Yttre Laholmsbukten.

Koncentrationen i den undre vattenmassan är betydligt högre relativt koncentrationen i ytvattnet än för flera av stationerna i Bohuslän (se avsnitt 5.1) och koncentrationerna följer varandra. Detta indikerar att kopplingen mellan ytvatten och vattenmassan under språngskiktet är relativt starkt och produktionen i ytvattnet transporteras troligen till stor del ner till botten. Båda stationerna ligger öppet, speciellt station Yttre Laholmsbukten. På grund av att det är relativt grunt kan en del av det partikulära materialet under språngskiktet möjligen härröra från resuspension av redan sedimenterat material.

En sak som är värt att notera i figur 44 b) är att det går att se samma variation i koncentrationen av POC i yttre Laholmsbukten som vi ser i

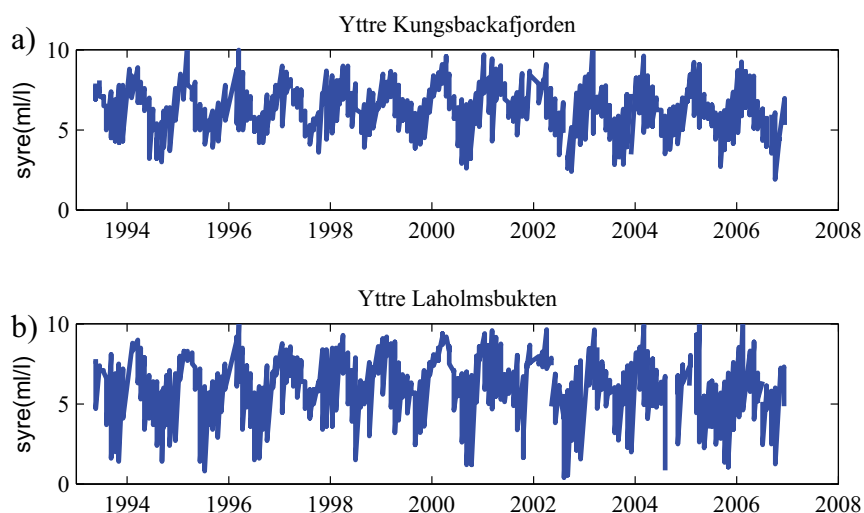
näringskoncentrationerna i figur 42. Både figur 42 och 44 visar lägre koncentrationer under mitten av 1990-talet, som ökar i slutet av 1990-talet och i början av 2000-talet. Koncentrationerna minskar igen, och ökar sedan på nytt i mitten av 2000-talet. Detta kan också ses vid kustvattenstationerna Nidingen och Värö (visas inte). Om det är ett samband mellan hur näringskoncentrationen i ytvattnet varierar och mängden POC så syns det inte lika tydligt vid kuststationerna i norra Bohuslän (figur 22) eller utanför Göteborg (figur 35). Orsaken till det kan vara att den dominerande källan är Östersjövatten vilket diskuteras i avsnitt 4.3.

Processen för att bryta ner det organiska materialet kräver syre och det förekommer vid några få tillfällen för djurlivet kritiskt låga syrekoncentrationer (2 ml/l) i Kungsbackafjorden (figur 45 a). Inga observationer finns för Klosterfjorden. Kustvattnet längre ut vid Nidingen och Värö visar bättre förhållanden med lägsta syrekoncentrationen mellan 3-4 ml/l.

I Laholmsbukten (figur 45 b) och Skälderviken är kritiska koncentrationer av syre mer frekvent, speciellt i de yttre delarna. De inre stationerna är grundare och vattnet syresätts därför bättre genom omblandning i hela vattenmassan, speciellt gäller det den inre stationen i Skälderviken. Observationer vid station Anholt längre ut i Kattegat visar att kritiska syrekoncentrationer förekommer relativt frekvent i bottenvattnet även här (visas inte).

Orsaken till de låga syrekoncentrationerna är framförallt det faktum att språngskiktet som begränsar syretillförseln ner till vattenmassan under bara ligger några meter från botten. Den mängden syre som finns tillgänglig för att bryta ner den biologiska produktionen räcker därför inte till under perioder med hög belastning.

Trendanalyser gjorda från provtagning längs Hallands- och nordvästra Skånekusten visar bl.a. att biomassan av bottenfaunan minskat signifikant i inre Kungsbackafjorden, på flertal stationer längs Hallandskusten, i Laholmsbukten och Skälderviken under perioden 1992 -2007 (Magnusson 2009).



Figur 45. Syrekoncentrationen i bottenvattnet vid station a) Yttre Kungsbackafjorden och b) Yttre Laholmsbukten.

Snabbväxande makroalger

Grunda vikar med hög utbredning av fintrådiga alger, är generellt sett ett problem i första hand i området från Varberg och norrut. I Kungsbackafjorden brukar flytande mattor av fintrådiga makroalger i Ulsbäcksbukten samt i området mellan Kalvö och Hanhals förekomma i perioder under sommarhalvåret.

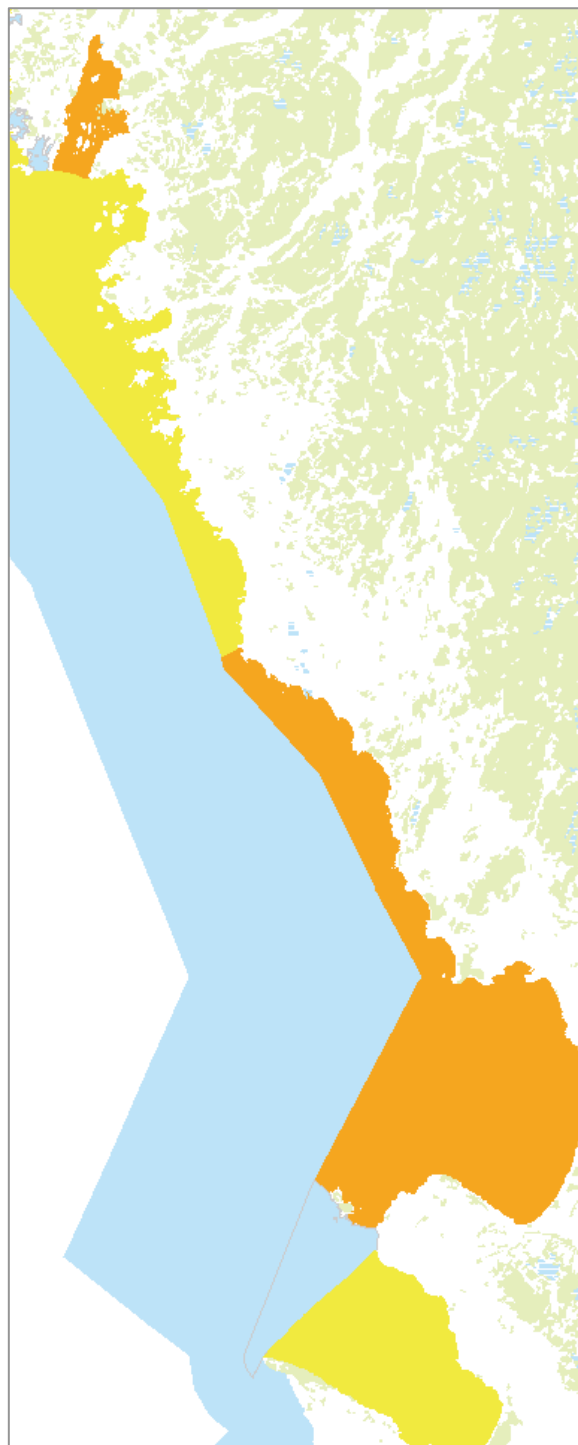
Längs Hallands och Skåne kusten, med sin öppna kustkaraktär och större bukter yttrar sig övergödningsproblematiken mer som en respons på syrebrist i djupvattnet och till kustrensans ilandspolade fintrådiga alger. Det vill säga mer likt problematiken i södra Östersjön.

Flygbildsmaterialet för kustområdet från Göteborg och norrut är unikt för Sverige och utgör ett värdefullt underlag för vidare utveckling av indikatorer som mått på framgångsrik åtgärdsinsats. Tyvärr omfattar det endast norra delen av Västerhavsdistriktet och det skulle vara önskvärt att utvidga kontrollprogrammet till att omfatta även norra delen av Halland, ner till Varberg.

Övergödningskänsliga områden

Resultatet av sammanvägningen av indikatorerna för övergödningskänsliga områdena längs Hallands och Skånes västkust visas i figur 46. Inre Kungsbackafjorden och Kattegatt är känsliga områden som pekas ut. Det som karakteriserar områdena i Kattegatt är som diskuterats tidigare i avsnitt 7 ett medeldjup strax under språngskiktets djupet. Det skarpa språngskiktet mellan vattenmassorna från Östersjön och Skagerrak försvårar syretransport från ytan till djupvattnet. Den lilla volymen djupvatten gör att området är känsligt för hög belastning av biologiskt material och syrekoncentrationen är periodvis kritiskt låg för djurlivet.

Figur 46. Övergödningskänsliga områden enligt utvalda indikatorer i norra respektive södra delen av västerhavsdistriktet. **Rött**-mycket övergödningskänsligt. **Orange**-klart övergödningskänsligt. **Gult**-måttligt övergödningskänsligt.

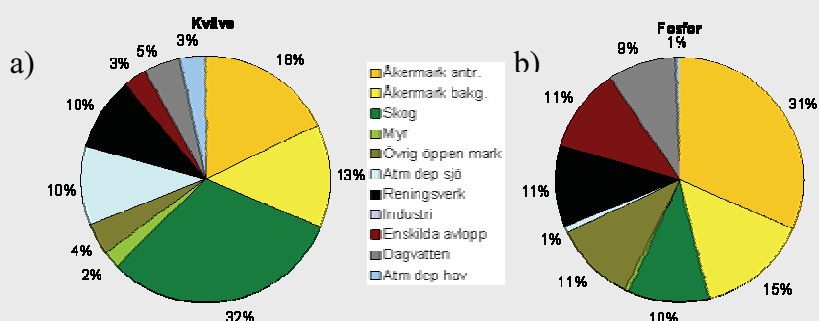


De indikatorer som ger störst utslag är också syrekoncentrationen i djupvattnet och statusen på bottenlevande djursamhällen.

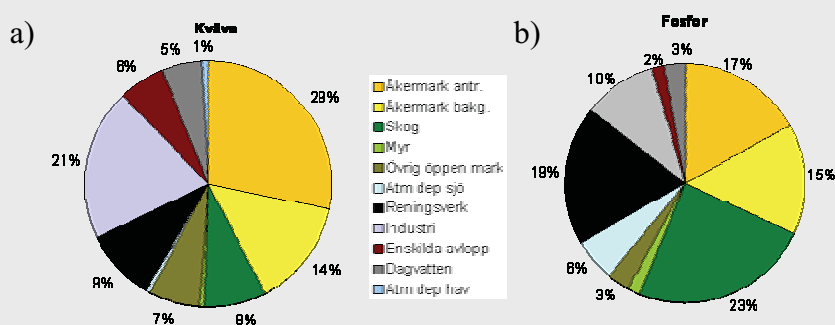
Den öppna kuststräckan i Kattegatt och Kungsbackafjorden är känsliga för lokal men även regional näringstillförsel som försörjer primärproduktionen.

7.2. Belastning från land och atmosfär

I den norra delen av Halland ligger Inre Kungsbackafjorden och Klosterfjorden på listan över de 10 områden med störst belastning från land (figur 2). Laholmsbukten och Skälderviken är de kustvattenförekomster längs södra Hallands kust och Skånes nordvästkust som finns med i figur 2. Tillförseln är betydligt större till dessa områden än till Bohuslän som diskuterats tidigare.



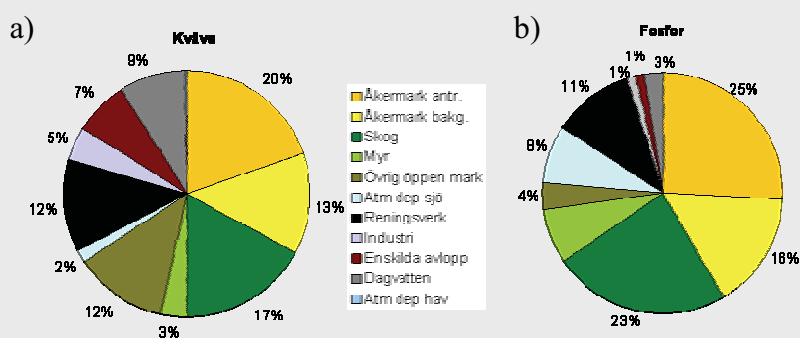
Figur 47. Tillförseln av a) Total kväve (totalt 585 ton/år) och b) Total fosfor (totalt 20 ton/år) från land till Inre Kungsbackafjorden. Övrig öppen mark är t.ex. betesmarker, ängar och berg i dagen. Beräkningar från SMED.



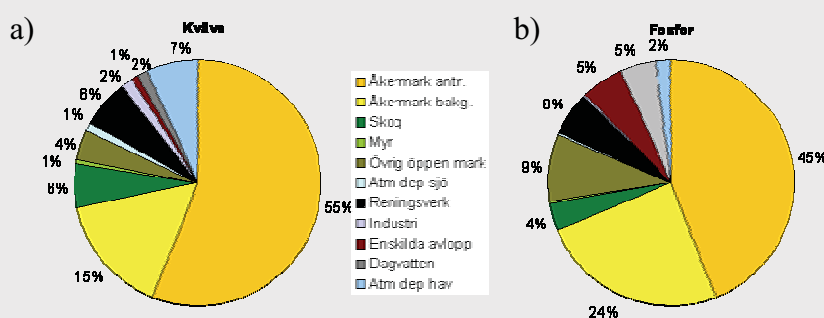
Figur 48. Tillförseln av a) Total kväve (totalt 1 638 ton/år) och b) Total fosfor (totalt 62 ton/år) från land till Klosterfjorden. Övrig öppen mark är t.ex. betesmarker, ängar och berg i dagen. Beräkningar från SMED.

Skog, myr, och övrig öppen mark dominerar tillförseln av kväve till Kungsbacka inre skärgård. De källorna utgör ca 40 % av tillförseln och utgör s.k. bakgrundsläckage (figur 47). I bakgrundsläckaget ifrån skog och mark ingår nettobidraget från atmosfärisk deposition som delvis är av antropogent ursprung och kan därför minskas genom åtgärder för att minska det atmosfäriska kvävenedfallet. Jordbruket står för ca 30 % av tillförseln till Kungsbacka inre skärgård, men ca hälften av det är också bakgrundsläckage som skulle läcka från motsvarande hektar obrukad mark. Reningsverk och enskilda avlopp utgör lite över 10 %. Avloppsreningsverket Hammargård har en effektiv rening, men utsläppspunkten från verket till vattendrag längst in i fjorden är inte optimal. Enskilda avlopp utgör en liten del av läckaget men kustnära utsläpp kan vara av stor betydelse på liten skala och bör åtgärdas.

Fosfortillförseln sker till största del från jordbruksmarken, även om det även för fosfor består av en del bakgrundsläckage. Cirka en tredjedel kommer från skog myr, och övrig öppen mark och 20 % från reningsverk och enskilda avlopp. Dagvatten från Kungsbacka stad bidrar påtagligt till näringsbidraget, framförallt fosfor. Den antropogena delen av belastningen, d.v.s. industri, reningsverk, dagvatten, enskilda avlopp, och åkermarken utgör ca 50 % av den totala tillförseln av kväve och ca 60 % av fosfor. Här ingår inte atmosfärisk deposition som delvis är av antropogent ursprung.



Figur 49. Tillförseln av a) kväve (totalt 4 412 ton/år) och b) fosfor (totalt 104 ton/år) från land till Laholmsbukten. Övrig öppen mark betyder obrukad jordbruksmarks som betesmarker och ängar. Beräkningar från SMED.



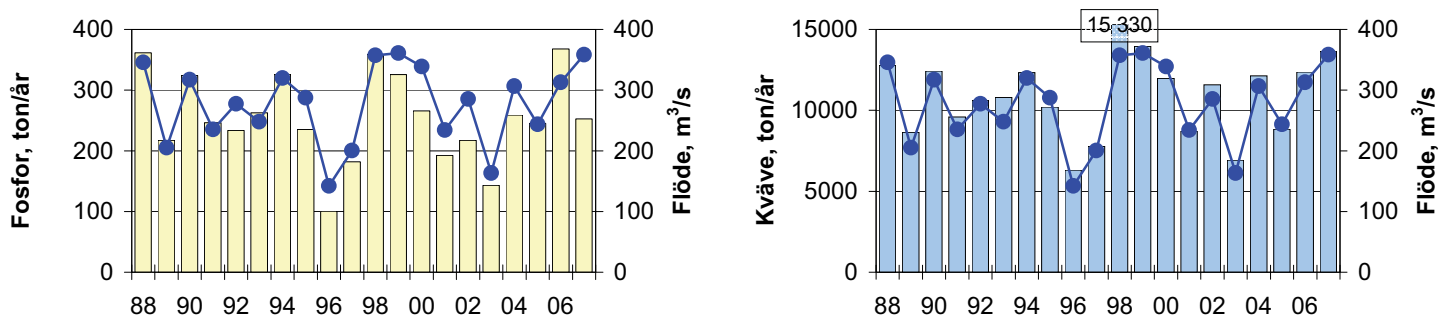
Figur 50. Tillförseln av a) kväve (totalt 3 225 ton/år) och b) fosfor (totalt 77 ton/år) från land till Skälderviken. Övrig öppen mark betyder obrukad jordbruksmarks som betesmarker och ängar. Beräkningar från SMED.

Tillförseln av näringsämnen till Klosterfjorden är ungefär 3 ggr så stor som till Inre Kungsbacka fjorden (figur 48). Tillförseln kommer till största del via Viskan som har ett stort avrinningsområde och mynnar i Klosterfjorden. Ett antal industrier ligger i avrinningsområdet och bidrar med 10 % och 20 % av kväve respektive fosfortillförseln. Reningsverk och enskilda avlopp bidrar med 10 % respektive 20 %, där reningsverkens bidrag är störst för kväve och omvänt för fosfor. Den antropogena delen av belastningen, d.v.s. industri, reningsverk, dagvatten, enskilda avlopp, och åkermarken utgör ca 70 % av den totala tillförseln av kväve och ca 50 % av fosfor. Här ingår inte atmosfärisk deposition som delvis är av antropogent ursprung.

Laholmsbukten och Skälderviken är bland de 10 områden som tar emot mest näring från land. Källfördelningen i figur 49 och figur 50 visar att bidraget från markanvändningen är stort men fördelningen är olika med ett procentuellt betydligt större bidrag från jordbruket till Skälderviken än Laholmsbukten. Den andel som kommer från skog, myr, och övrig mark till Laholmsbukten är lika stor som andelen som läcker totalt från åkermarken, där som vi diskuterat ovan en viss del är bakgrundsläckage. Från industrin kommer ett förhållandevis litet bidrag, och reningsverk plus enskilda avlopp står för 19 % och 12 % av det totala bidraget av kväve respektive fosfor. Dagvatten från hårdgjorda ytor i tillrinningsområdet ger också ett viktigt bidrag. Den antropogena delen av belastningen, d.v.s. industri, reningsverk, dagvatten, enskilda avlopp, och den antropogena delen av åkermarksläckaget utgör drygt 50 % av den totala tillförseln av kväve och ca 40 % av fosfor.

I Skälderviken dominerar bidraget från åkermarken stort med 76 % och 66 % för kväve respektive fosfor. Övriga bidrag från Industri, reningsverk, och enskilda avlopp är mycket mindre, men tillsammans bidrar de med ca 10 % för både kväve och fosfor.

Den antropogena delen av belastningen, d.v.s. industri, reningsverk, dagvatten, enskilda avlopp, och åkermarken utgör ca 65 % av den totala tillförseln av kväve och ca 65 % av fosfor. Här ingår inte atmosfärisk deposition som delvis är av antropogent ursprung.



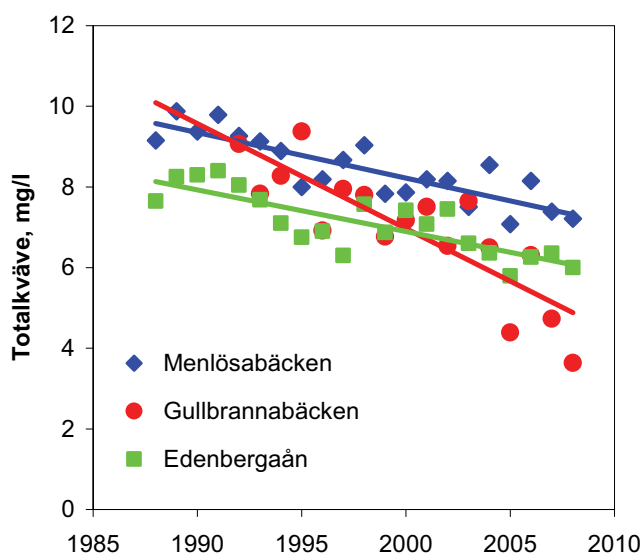
Figur 51. Tillförsel av fosfor och kväve till Hallands kustvatten 1988-2007. Den blå linjen visar årsmedelvattenföringen. Beräkningen omfattar 16 vattendrag som täcker in 95 % av avrinningen till kusten.

Hallandskusten och nordvästra Skånes kust består i hög utsträckning av slättlandskap och hög andel jordbruksmark nära havet. Vattendragen är betydligt större än i Bohuslän och näringstransporten från land därför högre.

Vattendragen har en nyckelroll då de transporterar stora mängder näringsämnen, som kväve och fosfor. Länsstyrelsen i Halland har gjort en sammanställning av näringsutflödet från land till Hallands kustvatten. För både fosfor och kväve gäller att tillförseln till Hallands kustvatten i hög grad styrs av variationer i vattenföringen. Mellanårsvariationen kan av detta skäl vara mycket stor (figur 51).

På grund av flödets dominerande betydelse kan det vara svårt att urskilja trender som orsakas av t.ex. förändrade läckagemönster. I Laholmsbukten där det finns långa tidsserier antyder dock en enkel flödeskorrigering att fosfortillförseln under perioden 1972-2007 minskat från 125 till 100 ton per år. För kväve är utvecklingen under samma period den motsatta och visar en ökning från 4 600 till 5 300 ton per år.

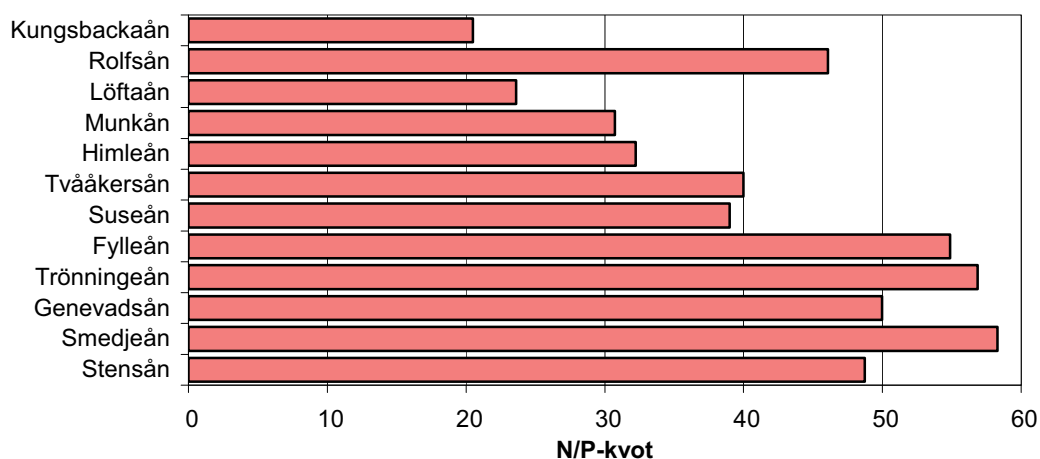
Det intressanta är att ökningen i huvudsak kan kopplas till skogsdominerade vattendrag, medan de jordbruksdominerade visar en svag tendens till minskande transporter. Utvecklingen i skogsvattendragen kan till en del förklaras av det senaste decenniets ökande halter av humusämnen och bundet organiskt kväve. Det ökade läckaget beror troligen även på en ökad areal hyggen som ett resultat av stormarna Gudrun och Per. Den minskning som antyds för vattendragen i våra jordbruksområden styrks av resultat från flera mindre vattendrag som ingår i olika övervakningsprogram (figur 52).



Figur 52. Utveckling av kvävehalter (årsmedelvärden) i tre jordbruksdominerade mindre vattendrag i södra Halland.

Förhållandena inom länet varierar och mycket generaliserat kan man säga att kväveförlusterna minskar medan fosforförlusterna ökar från söder till norr vilket visar sig genom stora skillnader i N/P-kvoterna (figur 53). Läckage kartorna över Västsverige i bilaga A visar att läckaget av kväve (kg/km²) är generellt betydligt högre längs den sydhalländska och skånska kuststräckan än i norra Halland och

Bohulän, norr om Göteborg. Omvänt gäller att fosforläckaget (kg/km²) är betydligt mindre. Den främsta orsaken till detta är skillnader i jordartsförhållandena. Lätta, sandiga jordar i söder leder till ett stort läckage av kväve. I norra delen av Hallands län och även i Bohuslän dominerar tyngre, lerhaltiga jordar vilka ofta medför höga fosforhalter och -förluster. Hur dessa jordartsskillnader tar sig uttryck i de olika vattendragen påverkas i slutändan också av andra faktorer som t.ex. vattendragets storlek, andel jordbruksmark, odlingsinriktning och andel sjöar och våtmarker.



Figur 53. N/P-kvot i mindre halländska vattendrag 2003-2007. Vattendragen är ordnade från norr (Kungsbackaån) till söder (Stensån). Avvikelsen i Rolfsån förklaras av den stora sjön Lygnern långt ner i systemet som verkar som en effektiv fosforsänka.

I Hallands och Skånes kustområden bedrivs ett storskaligt, intensivt och effektivt jordbruk. Detta jordbruk bidrar i hög grad till övergödningen i Skälderviken, Laholmsbukten, Klosterfjorden och Inre Kungsbackafjorden. Den stora tillförseln av kväve och fosfor från land sker framförallt p.g.a.

- Många vattendrag med stora vattenflöden
- Stort näringsläckage från åkermark

Kvävedepositionen från atmosfären är delvis orsaken till det läckage per ha som sker från skogen, från obrukad åker och från annan övrig mark. Skogen i stort utgör således en kvävesänka. Hyggen bidrar däremot till att försämra retentionen av näringsämnen.

I områden med stora hårdgjorda ytor nära havet, i t.ex. Kungsbacka och Halmstad utgör kväveinnehållet i dagvattnet, som huvudsakligen härrör från kvävedefallet, ett betydelsefullt kvävetillskott till havet.

Av den totala belastningen svarar det antropogena fosforläckaget från åkermarken för en varierande del av den totala tillförseln från land och atmosfär. Från ca 20 % i Kungsbackaområdet till över 50 % i avrinningsområdet till Skälderviken. Det antropogena kväveläckaget från åkermarken svarar för 16 % av belastningen i avrinningsområdet till Klosterfjorden men hela 45 % av den totala belastningen från land och atmosfär på Skälderviken.

De stora näringsläckagen i södra Halland och nordvästra Skåne beror bl.a. på att här finns lätta jordar som innehåller sand och finmo, vilket delvis är sant för norra Halland, men här kompletteras bilden också med kalt berg och tunt jordlager med inslag av lera. Val av grödor bidrar också till näringsläckaget då det förekommer mycket specialgrödor såsom potatis, sockerbeter och köksväxter. Grödor som kräver mycket vatten och gödsling.

De största marläckagen längs Halland och Skånekusten hittar vi i Skäldervikens avrinningsområde. I den nordvästra delen läcker marken mer än 10 kg N/ha (1000 kg N /km²) och i södra delen av Bjärehalvön är fosforläckaget som störst med 0.4 kg P/ ha (40 kg P/km²). Det är jordbruket som står för huvuddelen av näringsämnes belastningen till vattendrag. I Hasslarpsån som är ett biflöde till Vege å bidrar t.ex. jordbruket med 95% av kväve- och 66% av fosfortillförseln till ån.

7.3. Slutsatser

Trots att den södra delen av Hallandskusten är öppen och oskyddad så gör den starka skiktningen och djupförhållandena att området ändå får betraktas som känsligt för mängden organiskt material i vattenmassan. I yttre delarna av Kungsbackafjorden i norr och Laholmsbukten och Skälderviken i söder är klorofyllhalterna endast marginellt förhöjda jämfört med kustvattnet. Däremot ser vi tydligt förhöjda halter i inre delarna av Kungsbackafjorden och framförallt Skälderviken, som tyder på en påverkan av näringstransporten från land. Det är också troligt att vi har samma effekt i Klosterfjordens inre delar. Laholmsbukten tycks vara mindre påverkad av landtransporten än Skälderviken när vi tittar klorofyllhalterna även om en del av förklaringen kan ligga i att den inre stationen i Skälderviken ligger mer strandnära än i Laholmsbukten. Fosfatkoncentrationerna är tydligt förhöjda i inre delen av båda områdena och de har samma problem med dåliga syreförhållanden. Vinterkvoten mellan DIN och DIP ligger under 16 i kustvattnet i de södra delarna vilket indikerar att primärproduktionen under våren är kvävebegränsad, men i den inre delen av Skälderviken ser vi effekten av kvävebidraget och kvoten ökar vilket ger ett fosforbegränsat system. Det gäller troligen även i den inre delen av Laholmsbukten. Makroalger har en betydligt högre kvot för maximal tillväxt (30) (Barnes och Mann 1991, Lobban et.al 1985), och är därför oftast kvävebegränsade i våra kustvatten. Den starka kopplingen mellan mängden POC över och under salthaltssprångskiktet indikerar att en minskning av primärproduktionen i ytvattnet också skulle innebära en minskad belastning på vattenmassan under språngskiktet. Vid de yttre kustvattenstationer syns ett tydligt samband mellan variationen i närsaltskoncentrationerna med en period på ca 7 år och mängden av partikulärt organiskt material (POC). Sambandet är intressant och orsaken till variationen diskuteras kort i avsnitt 4.

Effekten av närsaltsbelasningen från land är tydlig längs Halland och Skånekusten. I de områden som bidrar mest till övergödningen längs kuststräckan är det antropogena bidraget stort, mellan 40-70 %. Åkermarken bidrar med en stor del av detta speciellt i södra Halland och Skåne. Slutsatsen blir därför att framförallt jordbrukets diffusa källor måste åtgärdas, men att det är viktigt att för varje område utreda vilka källor som bidrar mest. Det är också viktigt att se på olika skalor, om utsläppen sker strandnära i känsliga vikar eller i mera okänsliga områden med bra omblandning i vattenmassan.

I fallstudier av Kungsbacka inre skärgård med avrinningsområde och Skäldervikens avrinningsområde har vi tagit fram åtgärds paket baserat på de lokala förutsättningarna. I Fallstudierapporten, Erlandsson m.fl. (2009) redogör vi för slutsatser kring åtgärder i Halland och nordvästra Skåne. En sammanställning av dessa finns i avsnitt 2 i denna rapport.

8. Referenser

- Andersson L., och Rydberg L., 1993. Exchange of water and nutrients between the Skagerrak and the Kattegat. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 36: 159-181.
- Arneborg L., 2004. Turnover times for the water above sill level in Gullmar Fjord. *Continental Shelf Research* 24: 443-460.
- Aure J., and Stigebrandt A., 1989. On the influence of topographic factors upon the oxygen consumption rate in sill basin fjords. *Estuar. Coastal. Shelf. Sci.* 28: 59-69.
- 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.P., Loo L-O., Phil L., Rosenberg R., 1990. Effects of eutrophication on benthic communities including fish, Swedish west coast. *Ambio* 3: 113-122.
- Barnes R.S.K, and Mann K.H, 1991. *Fundamentals of aquatic ecology*. ISBN:0-632-0298-8. Blackwell Science Ltd.
- Borum J., and Sand-Jensen K., 1996. Is total primary production in shallow coastal marine waters stimulated by nitrogen loading? *Oikos* 76:406-410
- Björk G., Liungman O., Rydberg L., 2000. Net circulation and salinity variations in an open-ended Swedish fjord system. *Estuaries*, 23(3): 367-380.
- Carlsson C., 2009. Utbredning av snabbväxande makroalger i relation till belastning av kväve och fosfor i regionen Orust – Tjörn. Uppsats för avläggande av naturvetenskaplig magisterexamen i biologi, 30 hp. Institutionen för Marin Ekologi, Göteborgs universitet.
- Carstensen J., Conley D., Andersen J.H., Ærtebjerg G., 2006. Coastal eutrophication and trend reversal: A Danish case study. *Limnol.Oceanogr.* 51(1, part2): 398-408.
- DHI, 2005. Utredning av effekterna av fosforutsläpp från Ryaverket. Slutrapport, DHI. Bohuskustens vattenvårdsförbund, Uddevalla (available in English at www.bvfv.se).
- Djordjic F., 2008. Identifiering av riskområden för fosforförluster i ett jordbrukdominerat avrinningsområde i Dalarna. Rapport 2008:17, Länsstyrelsen Dalarnas län. Rapport 2008:5, Institutionen för miljöanalys, Sveriges Lantbruksuniversitet.
- Engelsson A., 2008. Links between macroalgal mats, fauna, and sediment biogeochemistry. Thesis. Department of Marine Ecology, Göteborg University.
- Erlandsson C.P., Stigebrandt A., Arneborg L., 2006. The sensitivity of minimum oxygen concentrations in a fjord to changes in biotic and abiotic external forcing. *Limn. Oceanogr.* 51 (1, part 2): 631-638.

- Erlandsson C.P., Lann H., Ruist E., Rönner U., Isaksson I., Klingberg M., 2009. Fyra fallstudier för att minska övergödningen i Västerhavets vattendistrikt. Länsstyrelserna. Vattenmyndigheten Rapport 2009:51.
- Hübinett M., 2009. Tillsyn av minireningsverk inklusive mätning av funktion. Länsstyrelsen i Västra Götalands län. Rapport 2009:07.
- Jordbruksverket 2008. 64 åtgärder inom jordbruket för god vattenstatus. Rapport 2008:31.
- Kajrup N., 1996. Net production, oxygen consumption rate and flux of organic matter of organic carbon in some Swedish fjords. Examensarbete i oceanografi (20 p). Geovetarcentrum, Göteborgs Universitet.
- Kjørboe T., Lundsgaard C., Oelsen M., Hansen J.L.S., 1994. Aggregation and sedimentation processes during a spring phytoplankton bloom.: A field experience to test coagulation theory. *Journal of Marine Research*, 52: 297-323.
- Lagesson H., Norling K., Oscarsson H., 2005. Många bäckar små. Rapport 2005:49, Länsstyrelsen Västra Götalands Län.
- Lobban C.s., Harrison P.J, and Duncan M.J., 1985. The physiological ecology of seaweeds. ISBN: 0-521-26508-8. Cambridge University Press.
- Magnusson, M., Rosenberg, R., 2005. Bottenmiljön i Kattegatt/Öresund och trefjordar i Skagerrak analyserad genom fotografering av sedimentprofiler (SPI). Marine Monitoring AB at Kristineberg, 12 pp. Report in Swedish.
- Magnusson M., 2009. Bottenmiljön i Kattegatt/Öresund och tre fjordar i Skagerrak analyserad genom fotografering av sedimentprofiler (SPI) 2008. Marine Monitoring AB, Kristineberg 566, S-450 34 Fiskebäckskil. ISBN 91-85293-49-0.
- Naturvårdsverket, 2006. Näringsbelastningen på Östersjön och Västerhavet. Rapport 5815.
- Naturvårdsverket, 2007. Ingen övergödning. Rapport 5768.
- NIVA, 2005. Utredning kring effekterna av ett minskat utsläpp av fosfor från Ryaverket. NIVA. Bohuskustens vattenvårdsförbund, Uddevalla (available in English at www.bvvf.se).
- Olsson A., 2007. Hydrography and water exchange in the Sannäsfjord. Geovetarcentrum, Göteborgs Universitet. B511 2007.
- Pihl L., Svenson A., Moksnes P.O., and Wennhage H., 1999. Distribution of green algal mats throughout shallow soft bottoms of the Swedish Skagerrak archipelago in relation to nutrient sources and wave exposure. *J. Sea Res.* 41: 281-294.
- Rasmussen B., 2003. Competition of nutrient pools and fluxes at the entrance to the Baltic Sea, 1974-1999. *Continental Shelf Research* 23: 483-500.
- Rasmussen B., Gustafsson B.G., Stockenberg A., Ærtebjerg G., 2003. Nutrient loads, advection and turnover at the entrance to the Baltic Sea. *J.Mar.Syst.* 39: 43-56.
- Rosenberg R., 1990. Negative trends in Swedish coastal bottom waters. *Mar. Pollut. Bull.* 21: 335-339.

Rosenberg R., Cato I., Förlin L., Grip K., Rhode J., 1996. Marine environment quality assessment of the Skagerrak – Kattegat. *Journal of Sea Research* 35(1-3) 1-8.

Rosenberg R., Blomqvist M., Nilsson H.C., Cederwall H., Dimming A., 2004. Marine quality assessment by use of benthic species-abundance distribution: a proposed new protocol within the European Framework Directive. *Marine Pollution Bulletin* 49:728-739.

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

Rydberg L., 1983. Västkustens hydrografi och närsalttransporter. Trender och klimatberoende i Östersjön och Västerhavet. Oceanografiska institutionen, Göteborgs Universitet.

Rydberg L., Edler L., Floderus S., Graneli W., 1990. Interaction between supply of nutrients, primary production, and oxygen consumption in SE Kattegat. *Ambio* 19: 134-141.

Rydberg L., Haamer J., and Liungman O., 1996. Fluxes of water and nutrients within and into the Skagerrak. *J. Sea Res.* 35(1-3): 23-38.

Rydberg L., 2005. Fosforering vid Ryaverket. GU Reports 2005. Bohuskustens vattenvårdsförbund, Uddevalla.

Rydberg L., Ærtebjerg G., Edler L., 2006. Fifty years of primary production measurements in the Baltic entrance region, trends and variability in relation to land-based input of nutrients. *Journal of Sea Research* 56: 1-16.

Rydberg R., 2008. Nutrient reductions in the Gothenburg waste water treatment plant and their effects on nutrient concentrations and chlorophyll in the estuary of river Göra älv. *VATTEN* 64:103-119.

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

SMHI, 2004. Sammanställning och utvärdering av hydrografiska mätningar längs Bohuskusten. Rapport 2004-57.

SMHI, 2007. Swedish national report on eutrophication in the Kattegat and the Skagerrak. OSPAR assessment. Reports Oceanography nr. 36.

SMHI, 2006. Long term trends in the seas surrounding Sweden, Part one – Nutrients. No. 34, SMHI. ISSN 0283-1112.

SMHI, 2008. Årsrapport Hydrografi 2008. Bohuskustens vattenvårdsförbund. www.bvvf.se

Sonesten L., Wallin M., Kvarnäs H., 2004. Kväve och fosfor till Väneren och Västerhavet. Länsstyrelsen i Västra Götalands län, rapport 2004:33. Länsstyrelsen i Värmlands län, rapport 2004:17, Vänerens vattenvårdsförbund, rapport 29.

Sonesten L., 2007. Närsaltsbelastningen - på samma nivå trots åtgärder. I HAVET 2007. s. 36. Utgiven av Naturvårdsverket och de tre marina forskningscentrum (UMF, SMF, GMF). www.havet.nu

Sonesten L., 2008. Närsaltsbelastningen – naturliga eller mänskliga källor. I HAVET 2008. s. 36. Utgiven av Naturvårdsverket och de tre marina forskningscentrum (UMF, SMF, GMF). www.havet.nu

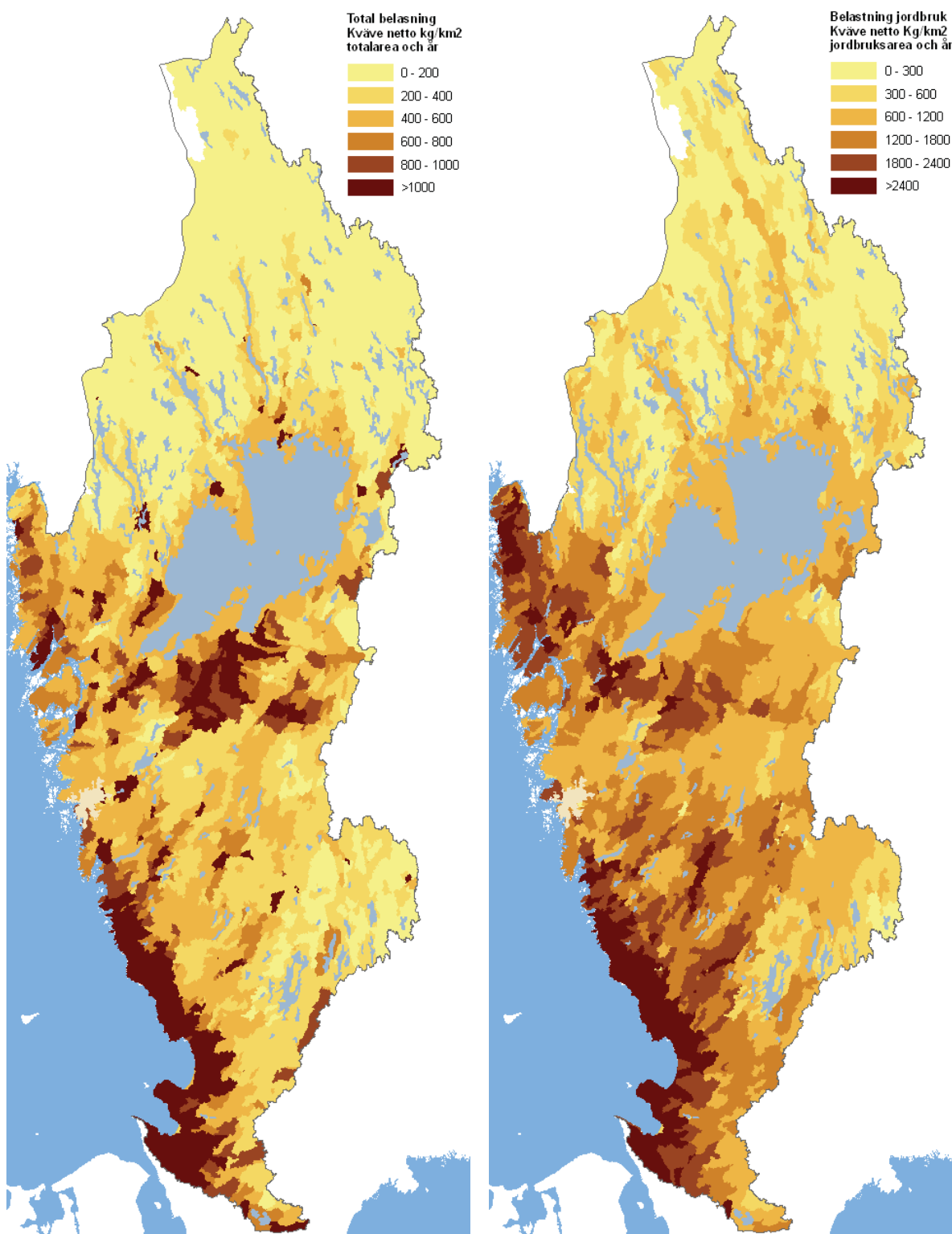
Stigebrandt A., 1983. A model for exchange of water and salt between the Baltic and the Skagerrak. *Journal of Physical Oceanography* 13: 411-427.

Stigebrandt, A., B. Liljebladh, P. Hall, L. Rahm, L. Arneborg, A. Tengberg och D. Turner (2008): BOX – a pilot study to evaluate effects of possible Baltic deep water Oxygenation.

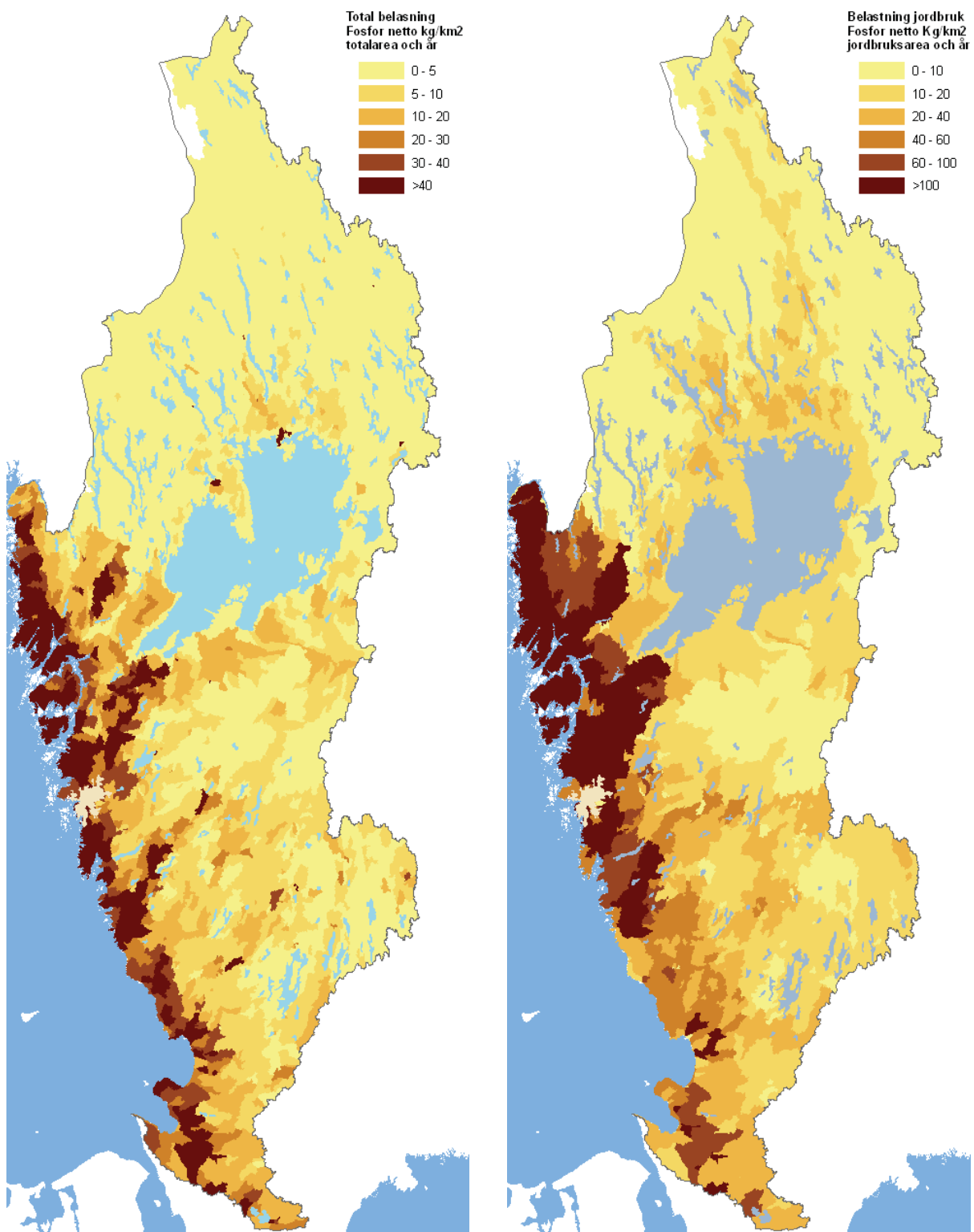
Viktorsson L., 2007, Water quality response to reduced phosphorus and nitrogen loads to Byfjord. Earth Science Centre, Gbg University. B507, 2006.

Wallentinus, I. 1984. Comparison of nutrient uptake rates for Baltic macroalgae with different thallus morphologies. *Marine Biology* 80: 215-225.

Bilaga A



Figur A1. a) Den totala nettobelastningen av kväve (kg/km²) och b) Den totala nettobelastningen av kväve från åkermark (kg/km² åkermark).



Figur A2 a) Den totala nettobelastningen av kväve (kg/km²) och b) den totala nettobelastningen av kväve från åkermark (kg/km² åkermark).



Länsstyrelserna

Västra Götaland
Halland
Skåne

För mer information kontakta

Länsstyrelsen Västra Götalands län, vattenvårdsenheten

Tel: 031-60 50 00

Du hittar rapporten på vår webbplats:

www.lansstyrelsen.se/vastragotaland under Publikationer

Rapport: 2009:56 (rapportserien för Länsstyrelsen Västra Götalands län)

ISSN 1403-168X