

## **Integrerat kustzonssystem för Bohusläns skärgård.**

**Eleonor Marmefelt, Håkan Olsson, Helma Lindow, SMHI  
Jonny Svensson, Thalassos Computations**



## **Integrerat kustzonssystem för Bohusläns skärgård.**

**Eleonor Marmefelt, Håkan Olsson, Helma Lindow, SMHI  
Jonny Svensson, Thalassos Computations**



## Report Summary / Rapportsammanfattning

Issuing Agency/Utgivare Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut S-601 76 NORRKÖPING Sweden		Report number/Publikation Oceanografi Nr. 76 version 2
		Report date/Utgivningsdatum november 2004
Author (s)/Författare Eleonor Marmefelt, Håkan Olsson, Helma Lindow, SMHI, och Jonny Svensson (Thalassos Computations)		
Title (and Subtitle)/Titel Integrerat Kustzonssystem för Bohusläns skärgård		
Abstract/Sammandrag <p>SMHIs Kustzonssystem har implementerats längs Bohuskusten i två etapper. Första etappen omfattar skärgården från Gullmaren i söder upp till riksgränsen i norr. Den andra etappen sträcker sig från fjordsystemet kring Orust och Tjörn och ner till Onsala kustvatten. Tillrinningen från land har beräknats med hjälp av den hydrologiska modellen HBV och koncentrationerna har fastställts m.h.a. observerade data. Atmosfärsdepositionen både på land och i kustområdet beräknas av den atmosfärskemiska MATCH-modellen. Kustzonsmodellen (PROBE-SCOBI), som är en biogeokemisk modell, beräknar tillståndet i skärgårdsvattnen.</p> <p>Med hjälp av Kustzonsmodellen har skärgårdens miljötillstånd kunnat beräknats för en längre tidsperiod. Validering av modellen visar på en god överensstämmelse mellan observationer och modellens resultat både i den norra respektive den södra delen.</p> <p>Kustzonssystemet är ett utmärkt modellredskap för beräkning av långtidsscenarier genom att studera effekter på planktontillväxt, syrgasförhållanden och övergödning/siktdjup för olika åtgärder på land. Med hjälp av Kustzonssystemet kan man även beräkna hur stor del av belastningen på ett havsområde som kommer från öppna havet och hur stor del som kommer från andra källor, vilket gör modellsystemet mycket användbart i arbetet med Vattendirektivet.</p>		
Key words/sök-, nyckelord Kustzonssystem, Kustzonsmodell, integrerat modellsystem, biogeokemisk modell		
Supplementary notes/Tillägg	Number of pages/Antal sidor 81	Language/Språk Svenska
ISSN and title/ISSN och titel 0283-7714 Oceanografi		
Report available from/Rapporten kan köpas från: SMHI S-601 76 NORRKÖPING Sweden Eller <a href="http://www.smhi.se">www.smhi.se</a>		

*Version 2:*

*Version 2 av rapporten skiljer sig från version 1 genom att förbindelsen mellan bassäng B05 och Skagerack i Kustzonsmodellen av Bohusläns södra skärgård har tagits bort. Denna förbindelse utgörs snarare en länk till Kustzonsmodellen i den norra delen av Bohusläns skärgård. Sammankopplingen av dessa båda uppsättningar av Kustzonssystemet kommer att genomföras i ett senare skede. Förutom detta har transportberäkningarna i Bohusläns södra skärgård korrigerats.*

<b>Sammanfattning</b> .....	<b>7</b>
<b>Bakgrund</b> .....	<b>8</b>
<b>Kustzonsmodellen</b> .....	<b>9</b>
<b>Modellansats</b> .....	<b>9</b>
<b>Drivdata</b> .....	<b>9</b>
Atmosfär.....	9
Land .....	11
Utsjön .....	11
<b>Validering av modellen</b> .....	<b>12</b>
<b>Bohusläns norra skärgård</b> .....	<b>14</b>
<b>Områdesbeskriving</b> .....	<b>15</b>
<b>Drivdata</b> .....	<b>20</b>
Atmosfär.....	20
Land .....	20
Utsjö .....	21
<b>Resultat</b> .....	<b>22</b>
Valideringsstationer.....	22
Gullmarsfjordssystemet.....	23
M Bohusläns skärgårds kustvatten (B04) .....	23
Gullmaren centralbassäng (B27) .....	26
Saltkällefjorden (B29).....	29
Brofjorden (B25).....	32
Idefjorden (B05) .....	35
Kosterfjorden (B10).....	38
Transportberäkningar .....	41
<b>Bohusläns södra skärgård</b> .....	<b>47</b>
<b>Områdesbeskriving</b> .....	<b>48</b>
<b>Drivdata</b> .....	<b>54</b>
Atmosfär .....	54
Land .....	54
Utsjö .....	55
<b>Resultat</b> .....	<b>55</b>
Valideringsstationer.....	55
Nordströmmarna/Koljöfjorden/Borgilefjorden (B07) .....	56
Havstensfjorden (B09) .....	59
Byfjorden (B10) .....	62
Halsefjorden (B12) .....	65
Marstrandsfjorden (B18) .....	68

Danafjord (B24) .....	71
Onsala Kustvatten (B04).....	74
Transportberäkningar .....	77
<b>Slutord.....</b>	<b>81</b>
<b>Referenser .....</b>	<b>82</b>



## Sammanfattning

---

SMHI har i samarbete med Länsstyrelsen i västra Götaland implementerat Kustzonssystemet i Bohusläns skärgård. Arbetet har pga. av sin omfattning indelats i två etapper. Kustzonssystemet är ett integrerat modellsystem där belastningen på kusten från land och atmosfär fastställs m.h.a. modeller. Syftet med kustzonssystemet är att modellerna skall vara så enkla som möjligt, för att kunna skapa långa tidsserier, och samtidigt kunna beskriva miljötillståndet i skärgården tillräckligt väl så att modellsystemet kan användas för exempelvis scenarioräkningar.

Bohuskusten kännetecknas av ett, på sina håll, komplicerat fjordsystem. Kustzonsmodellen är en s.k. en-dimensionell modell, som löser upp modellvariablerna i djupled, men beräknar ett horisontellt medelvärde i sitt område. För att kunna lösa upp de horisontella gradienterna i området måste modellområdet delas in i flertalet delbassänger. Indelningen av Kustzonsmodellens delbassänger följer i stort sett **SVAR**-indelningen. Detta innebär att för den norra delen av skärgården består modellen av 30 delbassänger. I den södra delen har vissa förenklingar kunnat göras, och några havsområden har kunnat slås samman i modellen och behandlats som en delbassäng. Genom dessa sammanslagningar har den södra skärgården delats in i 27 delbassänger.

Modellen har simulerat en längre tidsserie i båda områdena. Observationer i Skagerack och Kattegatt driver modellen från öppna havet. En omfattande validering av modellen har genomförts m.h.a. observationer från Bohuskustens kontrollprogram. Därefter har in- och utflöden beräknats i varje bassäng för såväl total-kväve som total-fosfor.

## Bakgrund

---

Uppsättningen av kustzonssystemet för Bohuskustens vattenområden har utförts på uppdrag av Naturvårdsverket och med hjälp av data och annan information från Länsstyrelsen i Västra Götaland. Arbetet har utförts i två uppdragsprojekt. Det första uppdraget utfördes under åren 2002 – 2003 och omfattade norra delen av Bohuskusten. När den modelluppsättningen var klar utfördes, som ett nytt uppdrag från Naturvårdsverket, uppsättning av modellsystemet för den södra delen av Bohuskusten.

Dessa två uppdrag har därmed resulterat i att det finns två uppsättningar av modellsystemet på Västkusten:

1. Norra Bohuskusten (Idefjorden i norr till och med Gullmarsfjorden i söder).
2. Södra Bohuskusten (Malö strömmar, Havsstensfjorden och Byfjorden i norr till och med Onsala kustvatten i söder).

Kustzonssystemet är ett modellsystem för beräkning av eutrofieringstillstånd i kustvattenområden. Systemet är användbart för att på regional geografisk skala beskriva eutrofieringstillstånd och beskriva effekter vid ändrade förhållanden, t.ex. åtgärder som reducerar tillförsel av kväve och fosfor till kustvatten (Olsson & Årnfelt 2003). Systemet har utvecklats vid SMHI med stöd från Naturvårdsverket och Länsstyrelsen i Östergötland (speciellt med anpassning av modellen för regional tillämpning).

I Östergötland finns två uppsättningar av systemet, som tillsammans täcker hela länets kustvattenområde. Modellen för den norra länsdelen blev klar år 2000 (Sahlberg & Olsson 2001). Modellen uppdaterades år 2002 i samband med konstruktion av modellen för de södra delen av länets kustvatten. Modelluppsättningarna för Östergötland uppdateras och förbättras ytterligare enligt de förbättringar som utförts i samband med uppsättning av modellsystemet för Bohuskusten.

Under år 2004 kommer kustzonsmodellen att sättas upp för Hallands kustvattnen mellan Onsala kustvatten och Skälderviken. Därmed kommer kustzonssystemet att med tre uppsättningar tillsammans täcka hela Västerhavets vattenadministrativa område enligt förslag till förordning för genomförande av den europeiska gemenskapens ramdirektiv för vatten.

# Kustzonsmodellen

---

## Modellansats

Kustzonsmodellen är en s.k. en-dimensionell modell med hög vertikal upplösning. Det innebär att modellen beräknar den vertikala variationen av sina modellvariabler, men är horisontellt homogen. För att beräkna den horisontella variationen, delas modellområdet in i olika delbassänger, där modellen löses separat. Genom att beskriva varje delbassängs vertikala volymsvariation fångas dess geografiska egenskaper. Delbassänger kopplas samman genom sund, varigenom vattenutbyte kan ske. Storleken på utbytet genom varje sund bestäms bl.a. av sundets tvärsnittsgeometri. Geometrin för varje enskilt sund har fastställts utifrån digitala sjökort, och finns publicerade i SMHI rapporten *Djupdata för havsområden 2003* (SMHI Oceanografi Nr 73, 2003), vilken är en del i Svenskt Vattenarkiv. För några smala sund har manuell teknik och vanliga sjökort använts vid beräkning av tvärsnittsarean. Ambitionen är att även modellens bassängindelning skall följa havsområdesregistret i Svenskt Vattenarkiv. Av modelltekniska skäl har vissa avsteg gjorts från denna princip, genom att några områden har slagits samman till större delbassänger. Främsta orsaken till detta är att i de berörda havsområdena inte finns några naturliga avgränsningar i form av tröskelområden vilket försvårar för modellen att återskapa vattenutbytet mellan dessa bassänger. Inga områden i havsområdesregistret har delats upp i modellansatsen.

Bohusläns skärgård utgörs på sina håll av ett komplicerat fjordsystem. Syftet med modellansatsen är bl.a. att på ett enkelt sätt kunna beräkna tillräckligt långa tidsserier för olika påverkans- och åtgärdsscenarier.

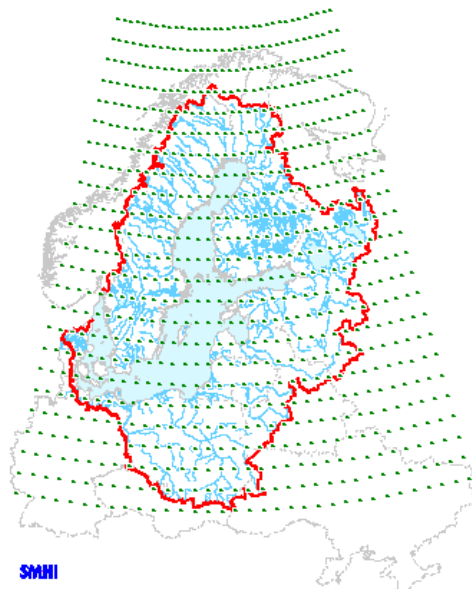
Kustzonsmodellen är en kopplad hydrodynamisk/biogeokemisk modell, där fysiken i systemet i form av omblandning, uppvärmning/avkylning, vattenutbyte etc. beräknas av den endimensionella modellen **PROBE**. Till **PROBE**-modellen finns också en biogeokemisk modell, **SCOBI**, kopplad vilken beräknar de grundläggande biogeokemiska processerna för att kunna beskriva dynamiken av näringsämnen (nitrat, ammonium och fosfat), växtplankton och syrgas. Dessutom tar **SCOBI**-modellen hänsyn till de utbyten som sker av näringsämnen mellan vattenmassan och havsbotten. Mer information om **PROBE** och **SCOBI** finns i Svensson (1998) och Marmefelt m.fl. (2000).

## Drivdata

Kustzonsmodellen utgör en del i ett integrerat modellsystem, Kustzonssystemet, i vilket modellen är kopplad till hydrologiska och atmosfäriska modeller. Dessa modeller utgör drivningen av systemet både vad avser fysiken och biogeokemin i den mån modelldata finns tillgängliga för den långa tidsperiod vi valt att studera. I annat fall har modellbaserade drivdata kompletterats med observerade data.

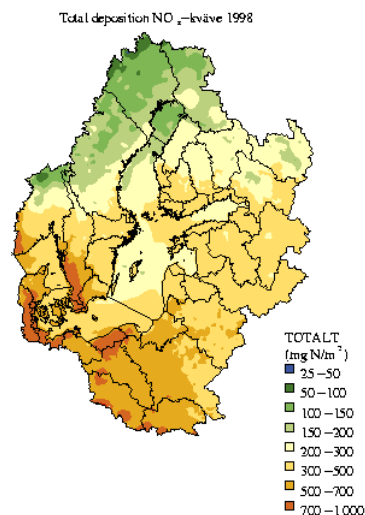
## Atmosfär

SMHI förfogar över en meteorologisk databas, vilken täcker hela Östersjöns och Västerhavets tillrinningsområde. Databasen baseras på synop-data från olika mätstationer från 1970 och framåt. Data är griddade i  $(1 \times 1)^\circ$  rutor var tredje timme. Från denna databas har vi erhållit vindhastighet, lufttemperatur, relativ luftfuktighet samt total molnighet, parametrar som krävs för att beräkna avkylning/uppvärmning, omblandning, planktontillväxt etc. i kustzonsmodellen.



Figur 1. Den meteorologiska databasen täcker Östersjöns och Västerhavets tillrinningsområde.

Kustzonsmodellen beaktar även deposition av oorganiskt kväve och fosfor från land. Till vår hjälp att fastställa depositionen av reducerat och oxiderat kväve har vi använt oss av depositioner beräknade av **MATCH** (Multiscale Atmospheric Transport and **C**hemistry Model) modellen. Eftersom det biologiska produktionen i kustzonen varierar under året beroende på bl.a. temperatur, tillgång av ljus och näringsämnen är det viktigt att källorna till modellen har en årstidsvariation. **MATCH** modellen har beräknats för perioden 1991, 1994-2001. I flertalet av dessa simuleringar finns enbarns årsvärden tillgängliga. I syfte att fånga årstidsvariationer och tillgodose Kustzonsmodellens behov av representativa depositionsdata har vi använt oss av lite skilda metoder i norra delarna av Bohusläns skärgård och södra delarna. Hur vi gått tillväga finns beskrivet i avsnitten Drivdata under respektive område. SMHI har planer på att inom en snar framtid köra om **MATCH** modellen för en längre sammanhållen period. Därefter kommer månadsvärden att bli tillgängliga direkt från modellen.



Figur 2. **MATCH**-modellen täcker hela Östersjöns och Västerhavets tillrinningsområde. Här visas totala depositionen av reducerat kväve för 1998.

Atmosfärisk deposition av fosfat beräknas inte av **MATCH**-modellen. Istället har vi använt oss av ett konstant värde på  $0.5 \text{ kg}/(\text{km}^2 \cdot \text{mån})$  baserat på Areskoug (1993).

## Land

Vid uppsättning av kustzonsmodellen skall tillrinningen och halter av kväve- och fosforfraktioner i tillrinningen till varje i modelluppsättningen definierad kustvattenbassäng beräknas så bra som möjligt. Med minimerad osäkerhet i beräknad tillrinning och tillförsel av växtnäringsämnen förbättras förutsättningarna för att modellen skall kunna kalibreras på rätt sätt och då ökar också förutsättningarna för att modellen skall ge trovärdiga resultat i samband med beräkning av scenarier.

För varje kustvattenbassäng definieras tillrinningsområden. Utsläppskällor för kväve och fosfor identifieras. Transporter av kväve och fosfor beräknas för definierade områden genom multiplikation av vattenflöde med halt. Alla transporter och utsläpp av kväve och fosfor summeras per bassäng och därefter beräknas halten i tillrinningen till varje bassäng genom att summerad transport divideras med summerad vattenföring till respektive bassäng.

För större vattendrag där det finns vattenföringsstationer nära mynningen i havet används dygnsmedelvattenföring från mätstationerna. För mindre vattendrag och i vattendrag där HBV-modellen ger bra resultat används modellberäknade data. I Bohusmodellerna har i stor utsträckning använts dygnsmedelvattenföring som räknats fram inom TRK-projektet (Brandt & Ejhed 2002).

De bästa skattningarna av kväve- och fosforhalter erhålls i vattendrag där det finns miljöövervakning med frekvent provtagning och analys av vattenkemi inklusive oorganiska fraktioner av kväve och fosfor. I dessa fall beräknas haltvärden för varje dygn med linjär interpolation mellan mätvärden. I tillrinning från områden där data saknas skattas halter med hjälp av information om markfördelning inom avrinningsområden och uppgifter om halter som uppmätts inom områden med likartad markfördelning. Detta har skett med hjälp av expertbedömningar och dataanalyser som anpassats efter de olika förutsättningar som funnits i samband med de olika uppsättningarna.

Uppgifter om utsläpp från punktkällor har erhållits från länsstyrelsen. Dataunderlaget har utgjorts av totala mängder av kväve och fosfor som släppt ut under vissa år. En komplett tidsserie för utsläppsmängder har skapats genom interpolering mellan mätvärden eller antaganden om oförändrade förhållanden. Oorganiska fraktioner i utsläpp har beräknats med hjälp av schabloner som i bästa fall baserats på uppgifter från länsstyrelsen.

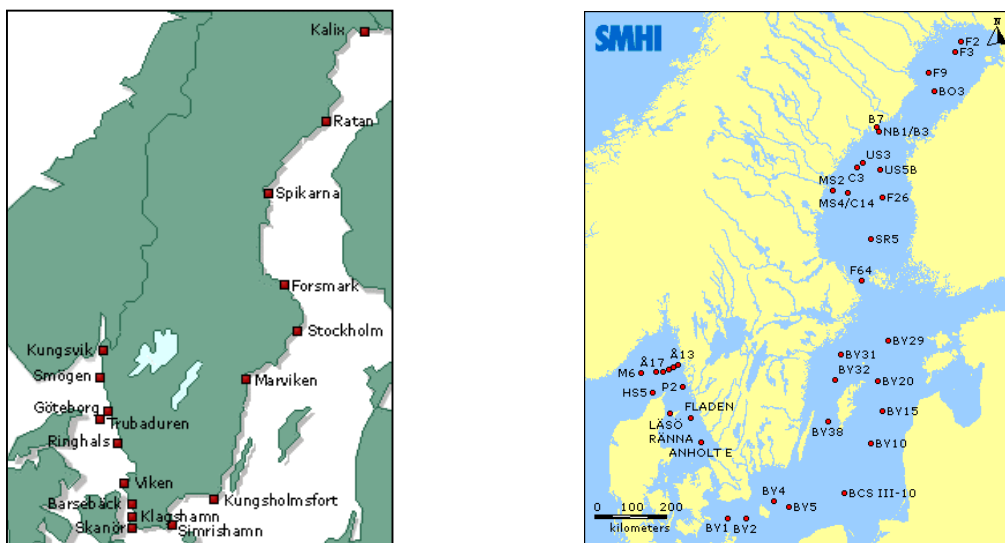
## Utsjön

Tillståndet i kustzonen är starkt kopplat till tillståndet i utsjön eller öppna havet. Utbytet mellan kustzonen och utsjön styrs dels av havsvattenståndets variationer men även av densitetsskillnader mellan utsjön och kustzonen.

Havsvattenståndet mäts dagligen på ett antal stationer runt Sveriges kust. För att få en så bra drivning som möjligt är det viktigt att välja en station som ligger väl placerad i förhållande till det kustavsnitt som skall modelleras.

Även vad det gäller att bestämma densitetsskillnader mellan kustzonen och utsjön är det viktigt att det finns data av salthalt och temperatur tillgängligt från en station med en så tät mätserie som möjligt under en så lång period som möjligt och lokaliserad så nära det kustavsnitt som studeras som möjligt. Det är ofta problem med att finna en utsjöstation som uppfyller alla de krav som kustzonsmodellen är beroende av för att ge tillförlitliga resultat. Tidsserierna från mätstationerna är ofta sporadiska, för korta, mätstationer läggs ner, ersätts med andra etc. Ett sätt att övervinna dessa problem är att ersätta observationsberoende drivningen från utsjön med resultat från en utsjömodell. SMHI arbetar intensivt med att vidareutveckla en sådan utsjömodell till att passa

Kustzonsmodellens behov. Det arbetet kommer att vara avslutat i slutet av 2004 och Kustzonsmodellen kan kopplas till en utsjömodell.



Figur 3. Havsvattenståndsstationer längs Sveriges kust (kartan till vänster) och mätstationer där provtagningar sker kontinuerligt och som finns tillgängliga i **SHARK**.

De hydrografiska skillnaderna mellan utsjön och kustzonen medför att det ofta är frågan om stora transporter mellan utsjön och kustzonen, vilket får till följd att miljötillståndet i kustzonen är starkt kopplat till miljötillståndet i utsjön. Det är därför av yttersta vikt att mätprogrammet vid den station som används för utsjödrivning även inkluderar biogeokemiska variabler såsom nitrat-kväve ( $\text{NO}_3$ ), ammonium-kväve ( $\text{NH}_4$ ), fosfat-fosfor ( $\text{PO}_4$ ), klorofyll-a ( $\text{chl}_a$ ) och syrgas ( $\text{O}_2$ ). På samma sätt är det också viktigt att den utsjömodell som i framtiden driver Kustzonsmodellen löser den biogeokemiska dynamiken.

## Validering av modellen

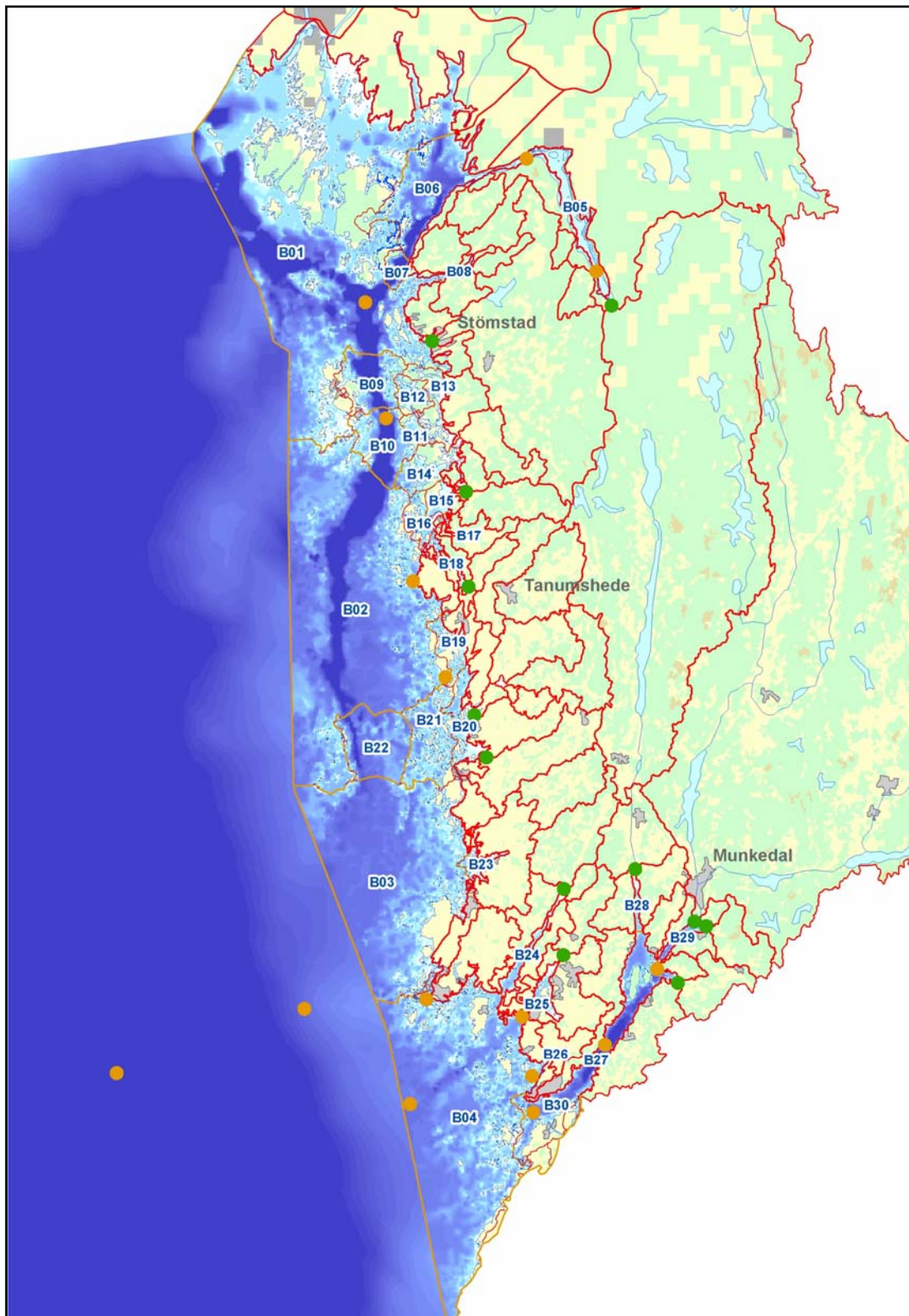


Figur 4. Stationer vilka ingår eller tidigare ingått i Bohuskustens kontrollprogram

Modellresultatens giltighet fastställs genom att validera dem mot uppmätta data. Längs Bohuslänns kust finns ett antal stationer som är väl placerade med avseende på modellvalidering. Ett dilemma är dock att modellansatsen är endimensionell och modellen

därför beräknar ett horisontellt medelvärde för varje djup i varje delbassäng. Kontrollprogrammen längs Sveriges kust är ofta fastställda med avseende på speciellt känsliga områden och stationerna är påfallande ofta belägna i inneslutna små vikar eller alldeles utanför ett tröskelområde. Ideala placeringen av en mätstation för att användas för validering vore centralt placerad i havsområdet, gärna nära maximala djupet för havsområdet i fråga. Men, eftersom detta påfallande ofta inte är fallet, måste även denna aspekt tas i beaktande vid validering av modellens resultat.

## Bohusläns norra skärgård



Figur 5. Översiktskarta över hela modellområdet för Bohusläns norra skärgård. De orange punkterna markerar marina mätstationer, medan gröna punkter markerar landbaserade mätstationer. Utanför modellområdet, i Skagerack finns ytterligare två stationer markerade Å13 och Å16, vilka tillsammans utgör drivningen från utsjön i modellen.

© Lantmäteriverket 2000. Ur GSD-Höjdkurvor ärende nr M00 5986



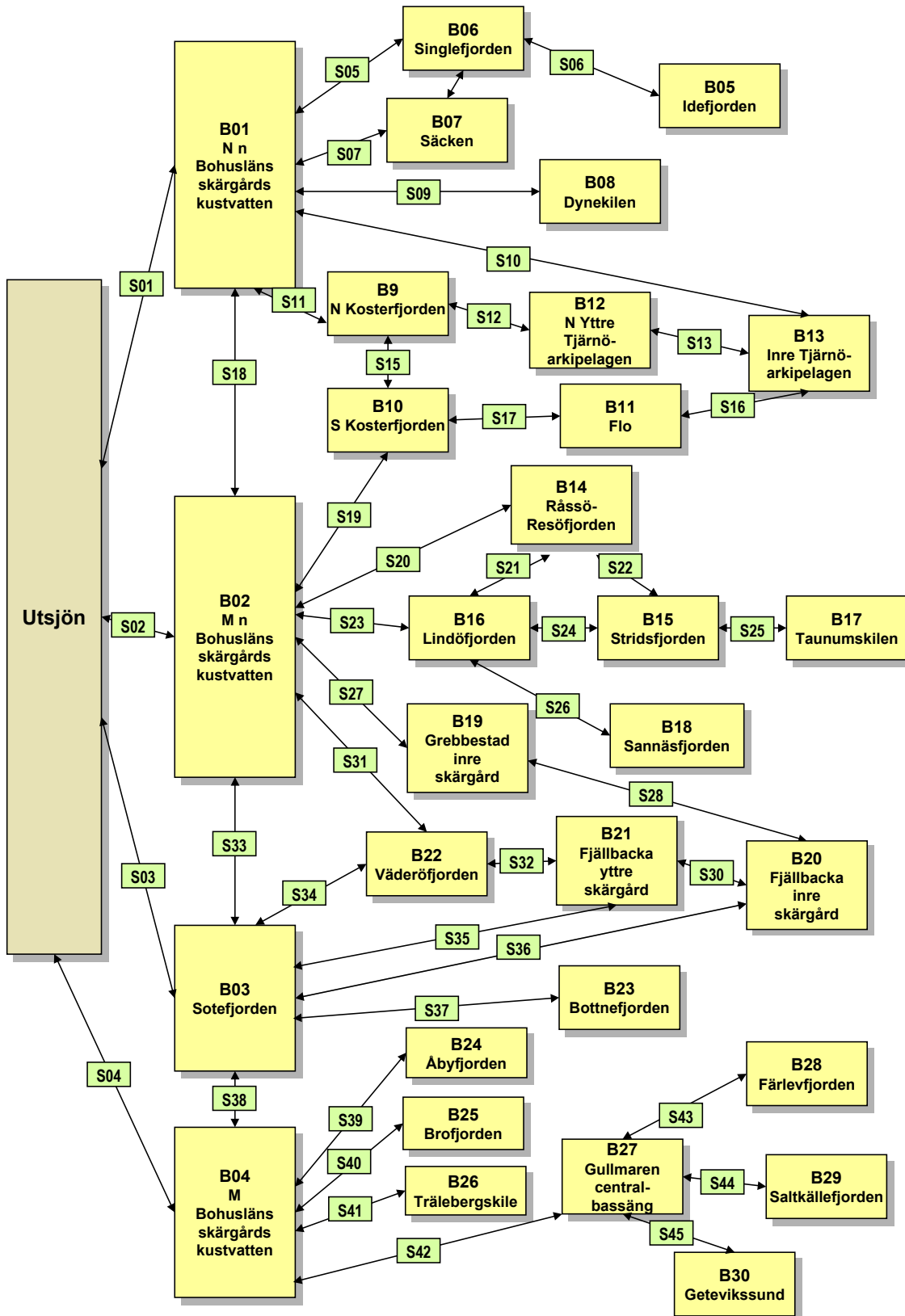
## Områdesbeskrivning

Kustzonssystemet för norra Bohuskusten omfattar 30 kustvattenområden med tillhörande avrinningsområden. En kartbild över hela modellområdet inklusive avrinningsområden finns på denna rapport omslagsbild och kustvattenområdets indelning i bassänger visas på kartan i figur 5. Modelluppsättningen omfattar kustvattnen från Idefjorden i norr t.o.m. Gullmarsfjorden i söder. Bassängernas förbindelser med varandra beskrivs schematiskt i figur 6. Förbindelserna eller tvärsnitten mellan bassängerna betecknas med **S01-S45** och varje tvärsnitt utgörs av ett eller flera sund.

De största vattendragen som mynnar i området är de norska älvarna Glomma och Haldenvassdraget (Tista). Ca hälften av Glommas avrinning mynnar i den nordligaste bassängen av modellsystemet och hälften rinner till havet utanför modellområdet. Haldenvassdraget och Enningdalsälven mynnar i Idefjorden. Det tredje största tillflödet är Örekilsälven, som mynnar i Saltkällelfjorden (modellområdesbeteckning **B29**) innanför Gullmarsfjordens centralbassäng (**B27**).

De 30 bassänger som ingår i modelluppsättningen redovisas i Tabell 1. För varje bassäng finns en angiven vattenvolym på varje nivå, se figur 7. På så sätt beskrivs varje bassäng i djupled även om den horisontella formen är förenklad till en "box". För modelluppsättningens djupaste bassäng har 156 djupskikt definierats.

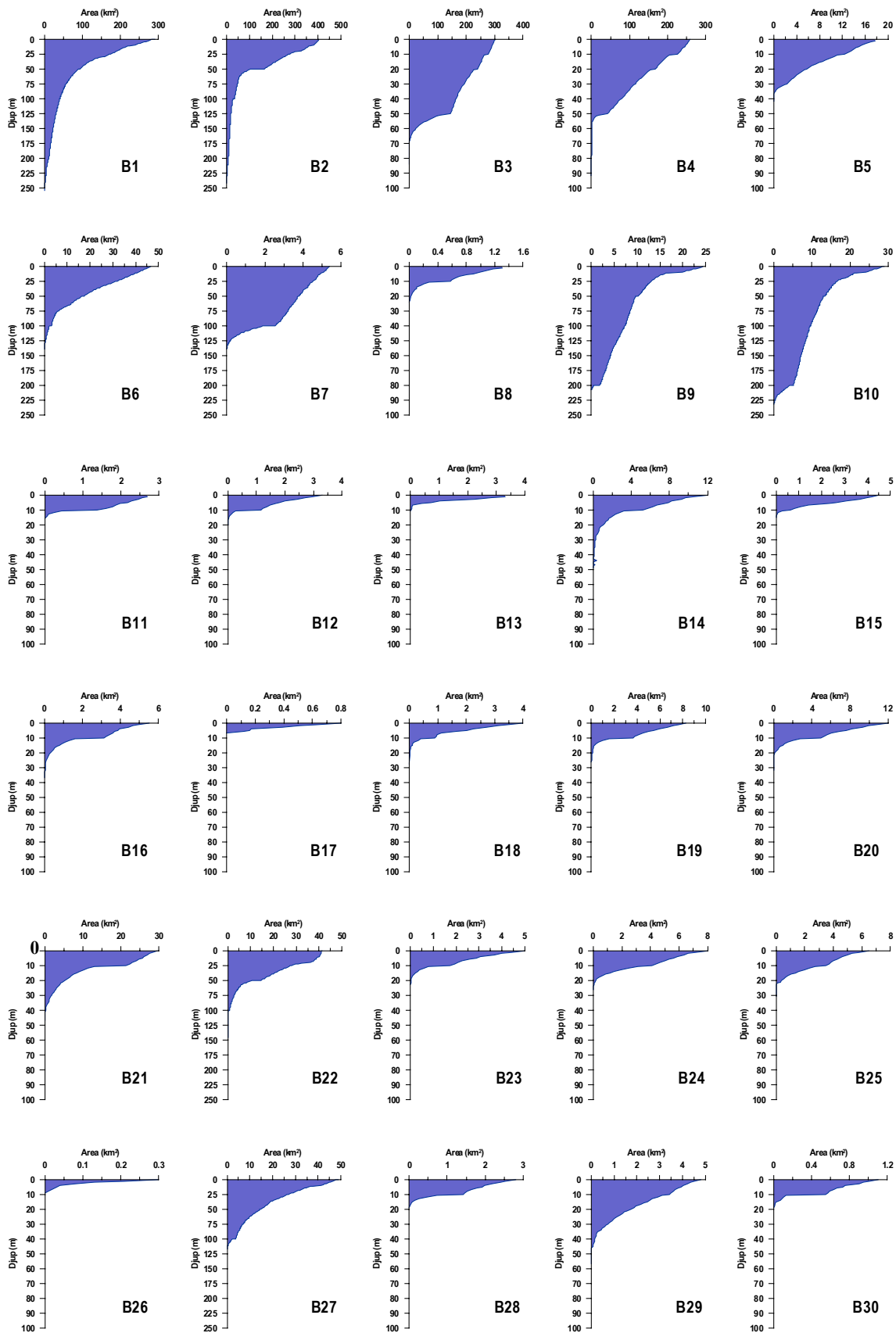
De 43 sund som utgör förbindelsen mellan de olika bassängerna visas i Figur 8. Modellen använder en förenklad beskrivning av tvärsnittsyntans form där den viktiga aspekten är att beskriva maximala djupet samt den totala tvärsnittsyntan korrekt. I sund S15, S18, S33 och S38 har större anpassningar gjorts i modellen både vad avser maximala djup samt deras tvärsnittsyntor. Orsaken till detta är främst av modelltekniska skäl. Den mycket lilla tvärsnittsyntan i sund S22 beror på att detta sund i verkligheten är avskuret av en bro, vilket inte framgår av de digitala sjökorten.



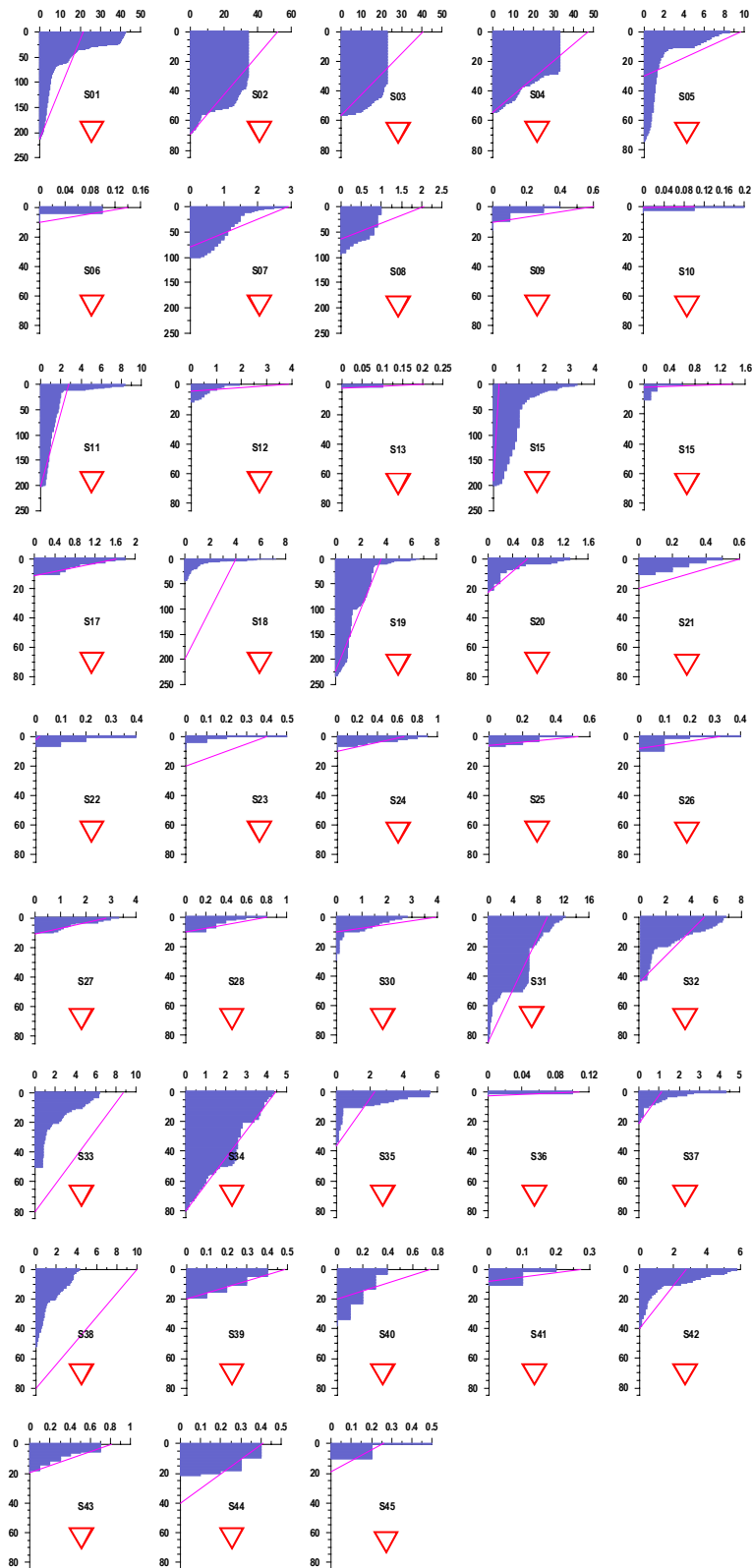
Figur 6. Schematisk beskrivning över bassängindelningen samt kopplingar mellan delbassängerna i modelluppsättningen för den norra delen av Bohusläns skärgård.

Tabell 1. Modelluppsättningens bassängbeteckningar och ytareor samt tillrinningsområdenas areor. Med undantag för B01 är bassängernas ytarea från **SVAR** (Svenskt VattenArkiv) och från den version av havsområdesregistret som gällde innan gränsen mellan kustvatten och hav justerades enligt tolkning av vattendirektivet. Arean för B01 har beräknats manuellt från sjökort. Tillrinningsområdenas area inkluderar områden på fastland och öar.

<b>Bassäng</b>	<b>Bassängnamn SVAR</b>	<b>Ytarea (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Tillr.omr. (km<sup>2</sup>)</b>
<b>B01</b>	N n Bohusläns skärgårds kustvatten	425	42495
<b>B02</b>	M n Bohusläns skärgårds kustvatten	406	25
<b>B03</b>	Sotefjorden	303	23
<b>B04</b>	M Bohusläns skärgårds kustvatten	318	77
<b>B05</b>	Idefjorden	23	2637
<b>B06</b>	Singlefjorden	53	81
<b>B07</b>	Säcken	6	2
<b>B08</b>	Dynekilen	2	49
<b>B09</b>	Norra Kosterfjorden	25	7
<b>B10</b>	Södra Kosterfjorden	29	4
<b>B11</b>	Flo	3	2
<b>B12</b>	Norra Yttre Tjärnöarkipelagen	4	7
<b>B13</b>	Inre Tjärnöarkipelagen	7	32
<b>B14</b>	Råssö-Resöfjorden sek namn	14	51
<b>B15</b>	Stridsfjorden	5	46
<b>B16</b>	Lindöfjordens sek namn	6	6
<b>B17</b>	Tanumskilen	1	18
<b>B18</b>	Sannäsfjorden sek namn	4	56
<b>B19</b>	Grebbe stad inre skärgård	9	15
<b>B20</b>	Fjällbacka inre skärgård	14	301
<b>B21</b>	Fjällbacka yttre skärgård	30	9
<b>B22</b>	Väderöfjärden	41	1
<b>B23</b>	Bottnefjorden	6	66
<b>B24</b>	Åbyfjorden	9	93
<b>B25</b>	Brofjorden	7	67
<b>B26</b>	Trälebergskile	1	14
<b>B27</b>	Gullmaren centralbassäng	50	145
<b>B28</b>	Färlevfjorden	3	80
<b>B29</b>	Saltkällefjorden	5	1385
<b>B30</b>	Getevikssund	1	4



Figur 7. Area fördelningen i djupled för varje delbassäng beskrivs i sk hypsografer. Det är hypsograferna som anger varje delbassängs specifika geografiska egenskaper. Observera att för de djupare bassängerna B01, B02, B06, B07, B09, B10, B22 och B27 sträcker sig djupskalan till 250 m, medan den i övriga bassänger endast sträcker sig till 100 m.



Figur 8. Schematisk bild över tvärsnittsytan för respektive sund framtaget från digitala sjökort (blå staplar), de röda symbolerna anger huruvida vi i modellen betraktar dem som triangulära eller rektangulära, magentafärgad kurva anger modellens tvärsnittsyta. Det antas ett triangulär tvärsnitt i alla sund. Observera att pga. stora skillnader i maximala djupet för de olika sunden varierar djupskalan i figuren: 80 m maxdjup för de grundare trösklar och 250 m för de djupare.

## Drivdata

### Atmosfär

Nedfallet av kväveoxider respektive ammonium för år 1997 på respektive bassäng erhöles från beräkningar gjorda med **MATCH**-modellen (modellen finns beskriven på SMHI:s hemsida: [www.smhi.se](http://www.smhi.se)). Modellens beräknade månadsmedelvärden för 1997 antogs gälla även för övriga år. Indata levererades som nedfall per kvadratmeter och multiplicerades med respektive bassängs area för att ge nedfallet på respektive bassäng.

### Land

Vattenföringen beräknades som dygnsmedelvärden med hjälp av HBV-modellen med undantag för Örekilsälven och avrinningsområden i Norge. Örekilsälvens vattenföring beräknades med data från en mätstation belägen nära mynningen i havet och för Glomma erhöles vattenföringsuppgifter från SMHI:s beräkningar inom **Baltic-HOME** systemet. I dataserien för tillrinning via Glomma saknades uppgifter för år 1998. Denna lucka i tidsserien fylldes med samma data som fanns beräknade för år 1997.

Tillrinningen via Enningdalsälven och Strömsån beräknades separat med HBV-modellen medan det för alla övriga mindre tillrinningsområden antogs att samma arealspecifika avrinning gällde. För det norska vattendrag som mynnar i Idefjorden, Haldenvattendraget (Tista) samt omgivande kustområden; antogs samma arealspecifika avrinning gälla som beräknats för Enningdalsälven. Arealproportionaliseringen gjordes på dygnsvärden.

Sötvattenstillrinningen från varje delområde till respektive bassäng summerades och utgjorde indata till drivning av den fysikaliska modelldelen **PROBE**.

### Halter i tillrinning från landområden

Uppgifter om halter av kväve och fosfor i Örekilsälven och Enningdalsälven hämtades från nationell miljöövervakning (datavärd Institutionen för miljöanalys, SLU, Uppsala, [www.ma.slu.se](http://www.ma.slu.se)). Mätdata finns från prov tagna en gång per månad. Genom linjär interpolering mellan mätobservationer genererades dygnsvärden, som multiplicerades med vattenföring för att få dygnsvisa ämnestransporter.

För Glomma användes typiska månadshalter från SMHI:s **Baltic-HOME** beräkningar. Det innebär att halterna varierar mellan månader men att de representerar ett typiskt år. För Haldenvassdraget användes tidsserierna från Enningdalsälven men totalkväve- och nitrathalter räknades upp med faktorer som togs fram genom jämförelse mellan mätdata från de båda vattendragen.

För Strömsån användes de dygnshalter för totalkväve och oorganiskt kväve som räknats fram med HBV-N modellen. Av den oorganiska kvävehalten antogs 95% vara nitrat och 5% ammonium. Fosforhalter beräknades med hjälp av ett dataunderlag som erhöles från länsstyrelsen i Västra Götaland. Dataunderlaget var årliga transporter av totalfosfor och årlig medelvattenföring. Årliga halter beräknades och 30% av totalfosfor antogs vara oorganiskt fosfat. De halterna som räknats fram för Strömsån antogs även gälla för tillrinning till bassäng **B01** från kustområden och öar.

Från länsstyrelsen hade också erhöles årliga transporter av totalfosfor och totalkväve samt årlig vattenföring för tillflödena Anräsälven, Broälven, Bärfendalsälven, Färelv älv, Hogarälven, Jorälven, Skredviksån, Skärboälven och Taske å. Från det dataunderlaget beräknades medianhalter för varje vattendrag och det linjära sambandet mellan andelen skogsareal i avrinningsområden och totalkväve respektive totalfosfor. Ekvationerna (1) och

(2) kom fram från denna enkla analys och användes för beräkning av totalhalterna i övriga tillrinningsområden:

$$\text{Tot-P (mg/m}^3\text{)} = -148,5 * \text{andelen skogsareal} + 139,5 \quad (1)$$

$$\text{Tot-N (mg/m}^3\text{)} = -1302,3 * \text{andelen skogsareal} + 1623,6 \quad (2)$$

Skogsarealen i tillrinningsområdena erhöles från GIS-data och **SVAR** (registret för avrinningsområden). Fosfat antogs vara 30 % av totalfosfor. Nitrat och ammonium antogs i genomsnitt vara 50 % respektive 3 % av totalkväve.

De enligt ovan beräknade transporter sumnerades för varje bassäng och därtill adderades de årliga utsläppsmängder (direktutsläpp till kustbassängerna), som tagits fram enligt separat utredning. Summerade dygnstransporter av kväve- och fosforfraktioner dividerades med vattenföringen till varje bassäng så att dygnsvisa halter erhöles för varje bassäng. Dessa halter och summerad vattentillrinning till varje bassäng utgjorde indata till kustzonsmodellen.

Uppgifter om utsläpp direkt till kustbassängerna från källor belägna i Sverige erhöles från länsstyrelsen för åren 1995 och 1999. Dessutom identifierades med hjälp av litteraturuppgifter fyra utsläppskällor belägna i Norge. De största utsläppen av kväve- och fosfor i området togs med i beräkningarna (13 kommunala avloppsreningsverk och 6 industrier). De största direktutsläppen finns i Norge och släpps ut i bassängerna B01 och B05. I modelluppsättningen för norra Bohuskusten finns det direktutsläpp till 8 av bassängerna. Tidsserier med årliga utsläppsmängder skapades genom interpolering mellan åren och genom att anta att utsläppen inte förändrats före 1995 och efter 1999. Andelen nitrat, ammonium och fosfat antogs vara 30 % av totalkväve respektive totalfosfor, utom för utsläpp av ammonium från kommunala avloppsverk. I det fallet antogs att ammonium utgör hälften av totalkväveutsläppet. De genererade årliga utsläppen fördelades lika på årens dagar och adderades till övriga beräknade transporter från landområden till respektive bassäng.

De beräknade mängderna sötvatten och sötvattnets innehåll av närsalter tillförs i modellen ytcellen i respektive bassäng. För tillförseln via Glomma antogs det att halva utflödet går direkt västerut utmed norska sydkusten utan att tillföras bassäng **B01**. Glomma delar sig nämligen i en västlig och en östlig gren i Fredriksstad strax innan floden når havet. Via den västliga grenen, som mynnar längst västerut nära modellområdets gräns mot havet, rinner enligt en SMHI-utredning (Håkansson & Moberg, 1990) 30 % av vattnet. I kommande körningar bör det testas hur mycket detta antagande påverkar modellresultatet.

## Utsjö

Drivningen från havet i väster sker genom att en yttre bassäng tilldelas salthalt, temperatur, närsalthalt, planktonhalt och syrgashalt. Man vet att det vatten som vanligtvis finns i havet utanför Bohuskusten kommer söderifrån med den Baltiska strömmen. Därför valdes att ge den yttre bassängen värden som uppmätts i den nationella miljöövervakningens mätstation **P2**, nära kusten utanför Marstrand. Mätningarna vid **P2** går emellertid inte tillräckligt djupt för att kunna representera situationen på djupt vatten utanför norra Bohuslän. Indata från havet har därför kompletterats på djup under 40 m med mätdata från stationerna **A13** och **A16**, som ligger långt utanför Lysekil. Data hämtades från databasen **SHARK** vid havsmiljöövervakningens datavärd, SMHI.

Från år 1994 finns det regelbundna mätvärden av de flesta parametrarna som behövs för modellarbetet, inklusive klorofyllhalter som ger ett mått på växtplanktonförekomsten. Möjligheten att göra bra modellsimuleringar av kustvattenkvalitet ökar om det finns täta mätobservationer i utsjön som visar förekommande korttidsvariationer. Det är t.ex. viktigt

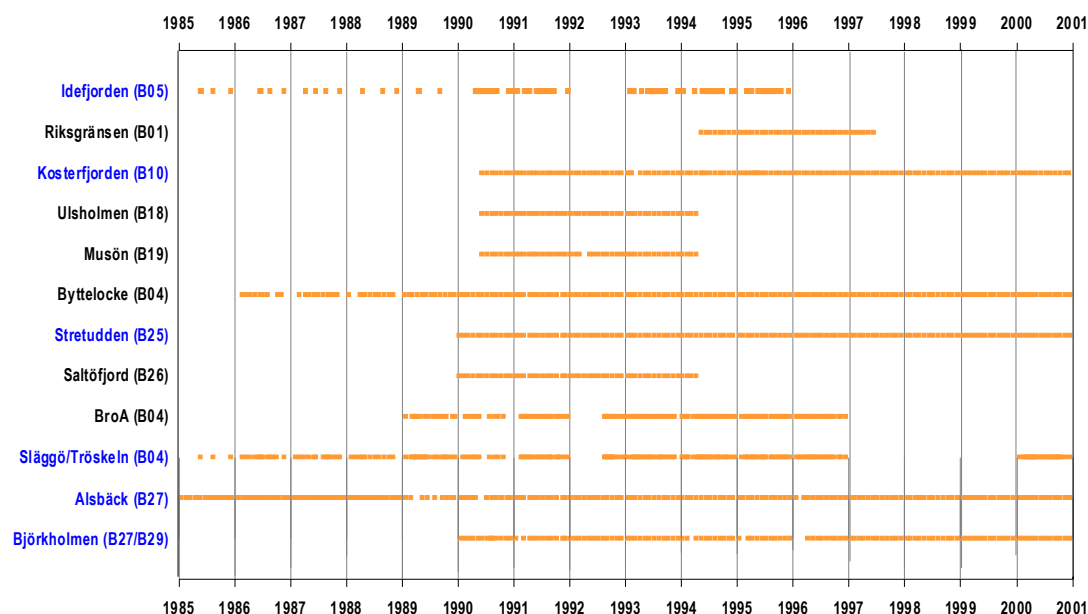
att i modellberäkningarna få information om förekommande uppvällningssituationer, då salt djupvatten når ytligare nivåer. Det finns emellertid endast månatliga mätningar, vilket innebär att man kan missa vissa betydelsefulla pulser av inbrytande salt vatten till de inre bassängerna. När modelldata från havsmodeller blivit bättre, eller när mätdata från automatiska instrument föreligger tätt i tiden kan modellsimuleringarna av vattenkvaliteten i kustzonen bli bättre och mer detaljrik.

## Resultat

### Valideringsstationer

I syfte att avgöra modellens riktighet och hur väl den representerar verkligheten krävs en noggrann validering, dvs. jämförelse mellan modellresultat och observationer gjorda i området.

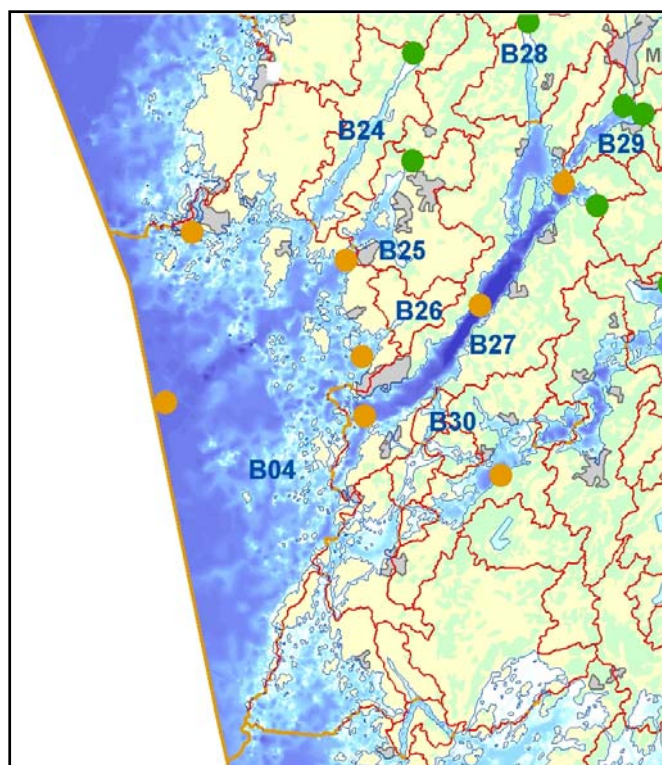
Längs Bohusläns norra skärgård utförs månatliga mätningar vid 6 stationer. Vid ytterligare 5 stationer har det förekommit mätningar under en längre period under tiden 1985-2000. Dessutom har man vid NIVA i Norge utfört ett begränsat provtagningsprogram på ett flertal stationer i Idefjorden fram till 1991. Somliga stationer i Bohuskustens kontrollprogram ligger väl till i respektive bassäng och lämpar sig väl för valideringsstudier, andra stationer ligger i inneslutna vikar och kan inte betraktas som representativa för hela havsområdet i vilket stationen är belägen. Detta gör att valideringen av modellen begränsas till de bassänger och stationer som är markerade med blå text i figur 9.



Figur 9. Mätserier vid de stationer som ingått och till viss del fortfarande ingår i Bohuskustens kontrollprogram. Notera att under perioden 1986-1989 genomfördes endast sporadiska mätningar under vinterperioden. Inom parentes anges i vilka modellbassänger som mätstationen ligger. Station Björkholmen är belägen precis vid gränsen mellan bassängerna **B27** och **B29**, varför båda dessa bassängers namn finns angivna i figuren. Stationerna med blå text lämpar sig väl till valideringsstudier då deras läge bedöms som representativa för modellbassängerna. Övriga stationer återfinns i grundområden och utgör en dålig representation av modellbassängerna.



## Gullmarsfjordssystemet



Figur 10. Hypsografisk karta över Gullmarsfjordssystemet, delbassängerna **B27**, **B28** och **B29**, samt den utanföriggande delbassängen **B04**, M Bohusläns skärgårds kustvatten. Dessutom återfinns även delbassäng **B25**, Brofjorden, i vilken validering av modellen genomförts. Oranga punkter markerar positionen för stationerna **R5** och **Ide1**.

© Lantmäteriverket 2000. Ur GSD-Höjddkurvor ärende nr M00 5986.

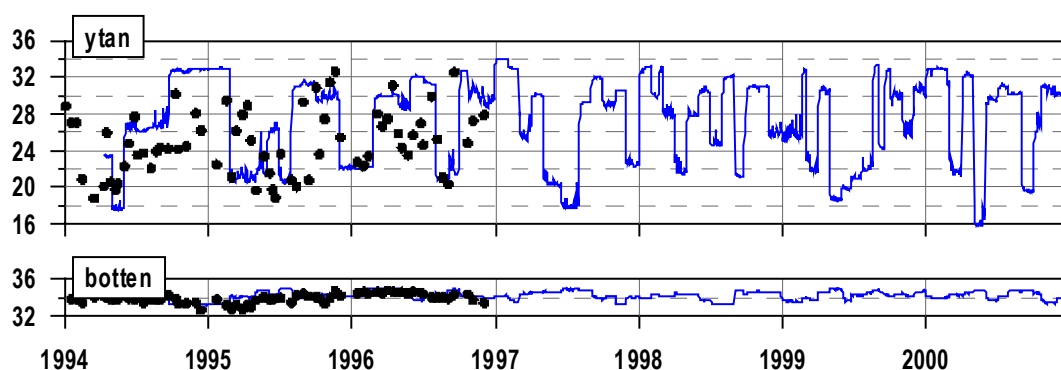
Från modellområdets sydligaste del har vi valt att visa resultat från Gullmarsfjordens centralbassäng (**B27**), från Saltkällefjorden (**B29**, Gullmarsfjordens nordöstra ända) och från basängen **B04**, som ligger utanför Gullmarsfjorden. För dessa bassänger finns mätdataserier från recipientkontroll som modellens resultat kan jämföras med. Det visar sig i den jämförande undersökningen att man inte alltid kan jämföra modelldata med de data som mäts i respektive bassängen. Modellen beräknar till exempel ett medelvärde för hela Gullmarsfjordens ytskikt från tröskeln i väster till de inre delarna av fjorden där provtagningsstationen **Björkholmen** är belägen. Modellens resultat representerar alltså inte riktig samma vatten som proven som tas vid **Björkholmen**. Exempelvis återspeglar inte modellens resultat de influenser av sötvattentillrinning som registreras i mätstationen **Björkholmen**. Modellen ger en salthalt i Gullmarsfjordens ytvatten som mer liknar den som uppmätts i vatten från stationen **Släggö** (tidigare **Tröskeln**), som ligger nära den utanför Gullmaren belägna bassängen **B04**.

Data från Björkholmen jämförs därför med resultat från **B29** som ligger innerst i Gullmaren.

### M Bohusläns skärgårds kustvatten (**B04**)

Bassäng B04 utgör en av modellområdets yttre bassänger, som gränsar till öppna havet, se figur 10. Dessa bassänger har stort vattenutbytet med havet och därmed styrs också modellens resultat för dessa bassänger till stor del av indata som beskriver tillståndet i havet. Modellberäknade data för bassäng **B04** har jämförts med data från stationen **Släggö** (tidigare **Tröskeln**).

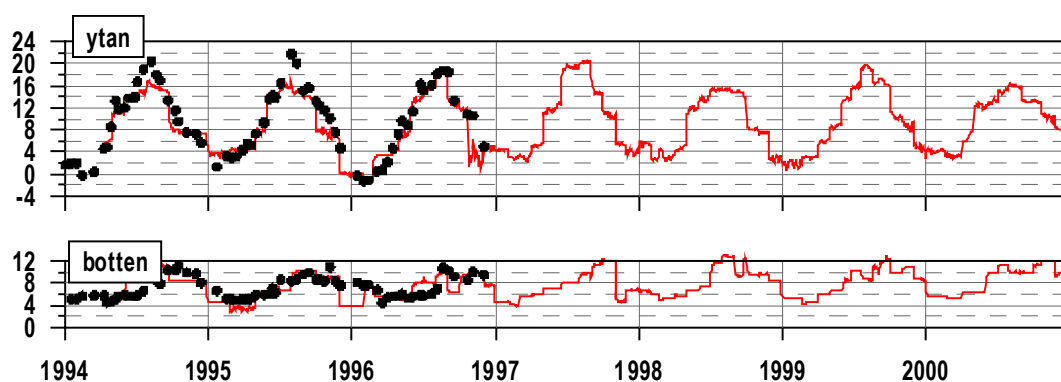
## Salthalt



Figur 11. Jämförelse mellan modellerad salthalt (PSU) från **B04** och mätdata från station **Tröskeln**. Blå linje visar modellresultat och svarta punkter observationer på 0 respektive 50 m.

Modell, liksom mätdata, visar på ett stagnant bottenvatten där salthalten endast varierar något enstaka PSU, medan ytvattnet varierar betydligt mer. Periodvis visar dock modellen på betydligt högre salthalt i ytan än vad mätdata antyder. Modellens salthaltsfält är starkt kopplat till tillståndet i utsjön. Skillnaden mellan modell och observationer hänger troligen samman med att drivningen som används till modellen från utsjön ger en allt för förenklad beskrivning av tillståndet i utsjön.

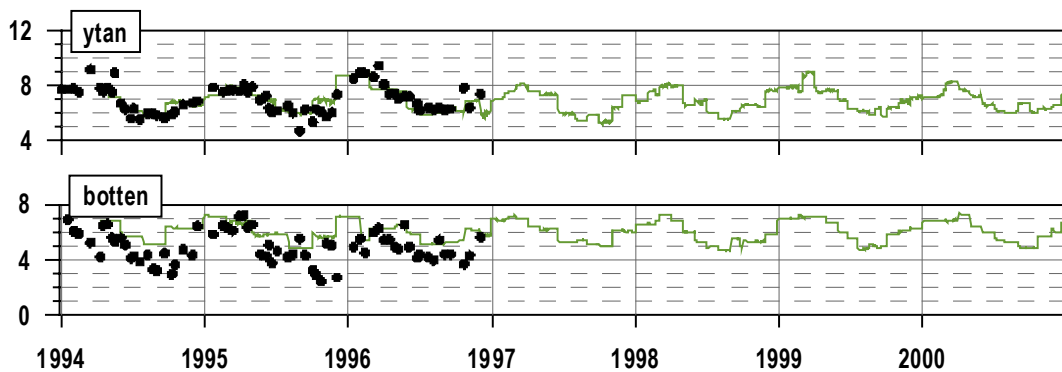
## Temperatur



Figur 12. Jämförelse mellan modellerad temperatur (°C) från **B04** och mätdata från station **Tröskeln**. Röd linje visar modellresultat och svarta punkter observationer på 0 respektive 50 m.

Det modellerade temperaturfältet stämmer väl överens med observationerna, både i ytan och på botten. Detta visar på att modellen behandlar såväl instrålningsrutiner som blandningsprocesser på rätt sätt i bassängen.

## Syrgas

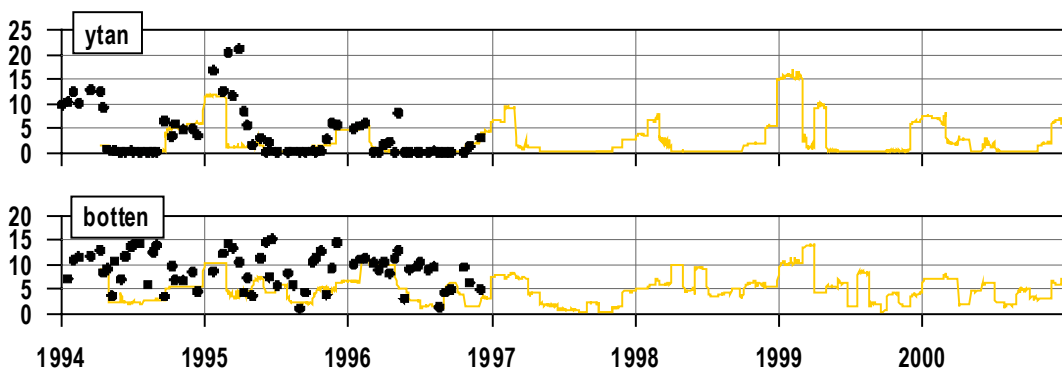


Figur 13. Jämförelse mellan modellerad syrgashalt (ml/l) från **B04** och mätdata från station **Tröskeln**. Grön linje visar modellresultat och svarta punkter observationer på 0 respektive 50 m.

Både modell och observationer påvisar att det i området finns en tydlig årscykel vad avser syrgashalter, med generellt sett högre halter under vintern då produktionen är låg och lägre halter under produktionssäsongen. Mätdata visar dock på lägre halter i botten under produktionssäsongen.

Det kan bero på att mätstationen är belägen i en del av havsområdet där djupvattnet är ännu mer stagnant än vad modellen återskapar. Detta behöver dock inte innebära att modellen inte återskapar salthalt och syrgasfält korrekt, då modellen ger ett horisontellt medelvärde för hela detta, mot utsjön, öppna havsområde och **Släggö** stationen är belägen inomskärs.

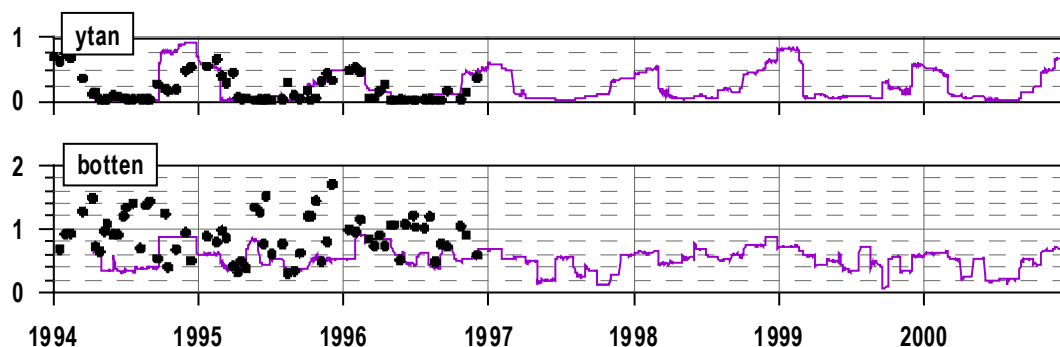
## Nitrat



Figur 14. Jämförelse mellan modellerad nitrathalt ( $\mu\text{mol/l}$ ) från **B04** och mätdata från station **Tröskeln**. Gul linje visar modellresultat och svarta punkter observationer på 0 respektive 50 m.

Modellen uppvisar en tydlig årscykel i nitrathalt, vilket stämmer väl överens med observationer i ytan. Mätdata visar dock på en betydligt större variabilitet än vad modellen återskapar. Tidsserien från mätstationen är dock lite för kort för att dra några långtgående slutsatser ifrån.

## Fosfat



Figur 15. Jämförelse mellan modellerad fosfathalt ( $\mu\text{mol/l}$ ) från **B04** och mätdata från station **Tröskeln**. Lila linje visar modellresultat och svarta punkter observationer på 0 respektive 50 m.

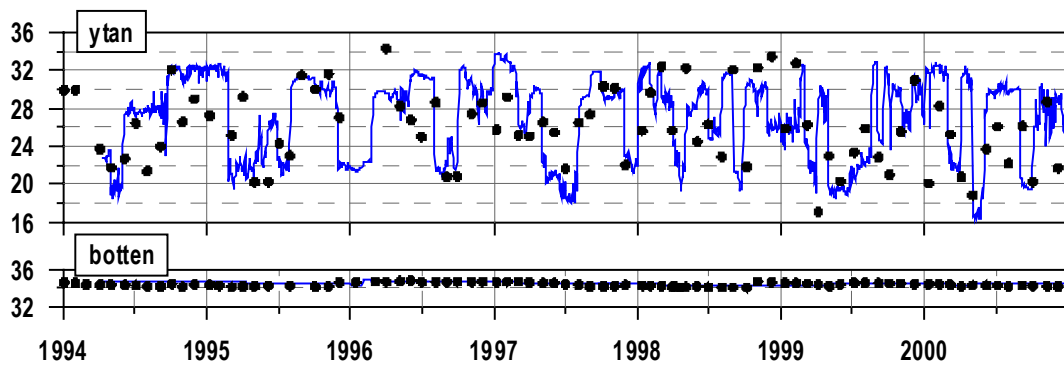
Även i fosfathalt uppvisar modellen en tydlig årscykel, som stämmer väl överens med observationer i ytan. På större djup är observationerna betydligt mer variabla än modellen återskapar med betydligt högre koncentrationer. Troligen hänger detta samman med att modellen inte får in rätt randvärden från utsjön främst vad det gäller djurplankton och detritus. I en känslighetsanalys som gjorts av Kustzonsmodellen (Svensson och Marmefelt, 2003) visas att modellens fosfathalter är mycket känsliga för vilka ansatser som görs av (det som modellen betraktar som) djurplankton och detritus i utsjön. Bäst löses detta problem genom att koppla Kustzonsmodellen till en kopplad biogeokemisk-hydrodynamisk utsjömodell.

### Gullmaren centralbassäng (B27)

Innanför bassäng **B04** ligger Gullmarsfjordens centralbassäng **B27**, se figur 10. Gullmarsfjordens vattenkvalitet är mer påverkad av sötvattenstillförsel än **B04** men det syns mer på mätdata än på modellberäknade data.

I stationen **Alsbäck**, som ligger centralt i Gullmarsfjorden, finns det emellertid inga data från ytvatten under den modellerade perioden. Modellens beräknade ytvärden för Gullmarsfjorden har därför jämförts med data från stationen **Björkholmen**, som är belägen längre in i Gullmaren. I **Björkholmen** visar mätningarna ofta lägre salthalt än modellens bassäng **B27**. Effekten av sötvattentillrinningen korrigeras genom att jämföra data från **Björkholmen** på 5m djup med modellens resultat i centrala Gullmarsfjorden i ytan.

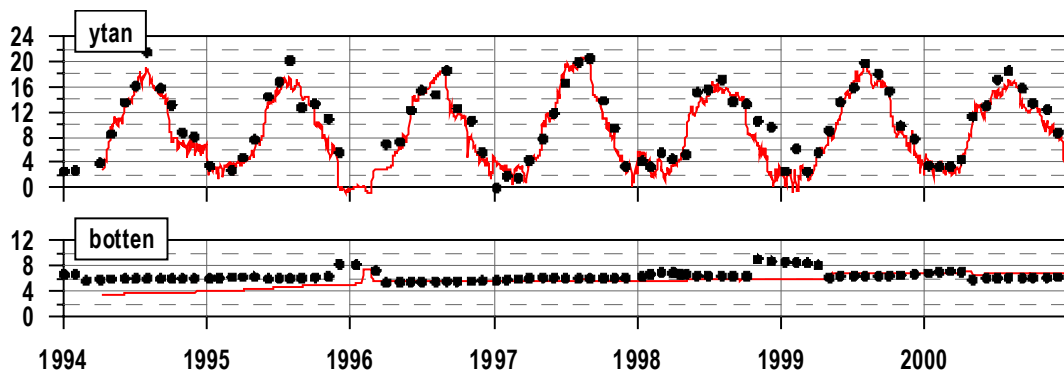
## Salthalt



Figur 16. Jämförelse mellan modellerad salthalt (PSU) från **B27** och mätdata från stationerna **Björkholmen** på 5m djup respektive **Alsbäck** på 110m djup. Blå linje visar modellresultat och svarta punkter observationer.

Det visar sig finnas bra överensstämmelse mellan mätningar och modellresultat vad gäller salthalt. I Gullmarsfjordens bottenvatten på 115-120 meters djup visar mätdata och modelldata att den uppmätta salthalten är relativt stagnant.

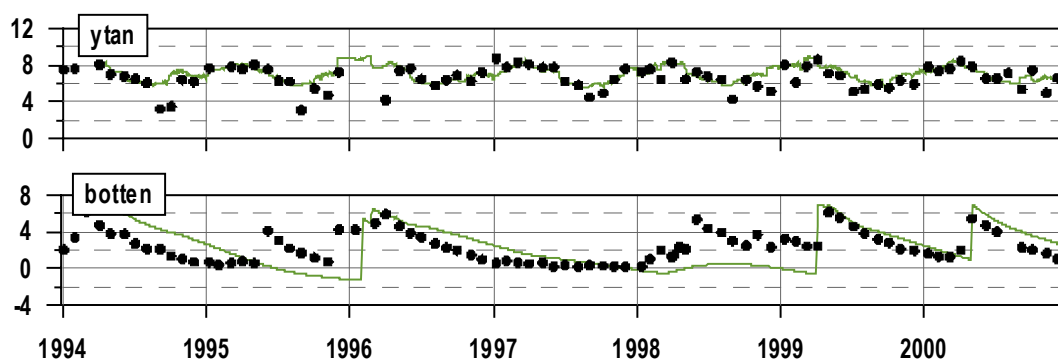
## Temperatur



Figur 17. Jämförelse mellan modellerad temperatur (°C) från **B27** och mätdata från stationerna **Björkholmen** på 5m djup respektive **Alsbäck** på 110m djup. Röd linje visar modellresultat och svarta punkter observationer.

Temperaturen i ytan beskrivs bra i modellen, medan temperaturfältet i djupvattnet antyder att modellens djupvatten byts ut alltför sällan.

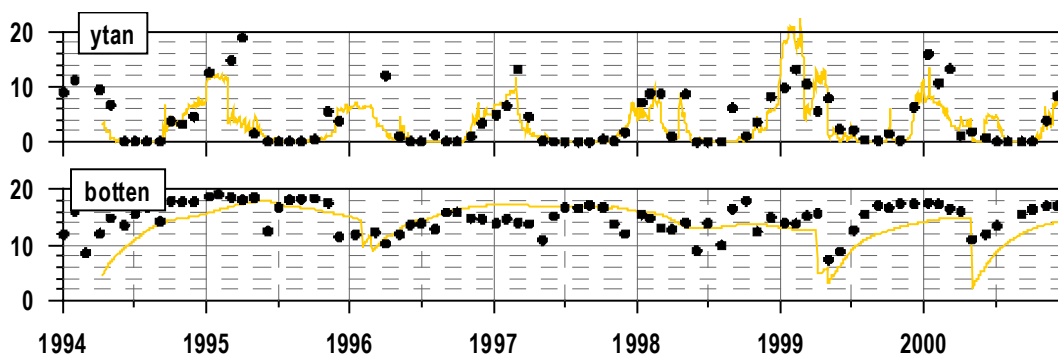
## Syrgas



Figur 18. Jämförelse mellan modellerad syrgashalt (ml/l) från **B27** och mätdata från stationerna **Björkholmen** på 5m djup respektive **Alsbäck** på 110m djup. Grön linje visar modellresultat och svarta punkter observationer.

Observationer av syrgashalten visar tydligt på att djupvattnet i Gullmaren byts ut så gott som årligen. När nytt vatten kommer in i djuphålan i Gullmaren har det en högre syrgashalt än det vatten som tidigare befann sig där. Under stagnationsperioder förbrukas syrgasen pga nedbrytning av organiskt material och syrgashalten sjunker.

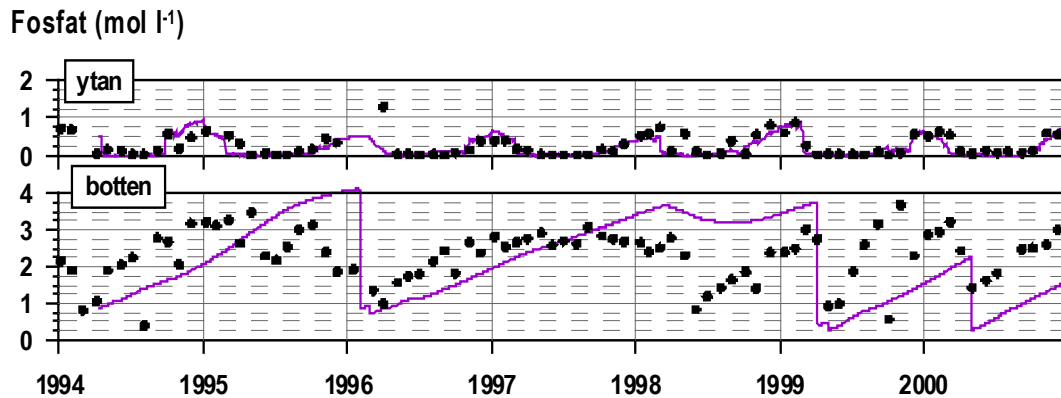
## Nitrat



Figur 19. Jämförelse mellan modellerad nitrathalt ( $\mu\text{mol/l}$ ) från **B27** och mätdata från stationerna **Björkholmen** på 5m djup respektive **Alsbäck** på 110m djup. Gul linje visar modellresultat och svarta punkter observationer.

Modellens nitrathalter stämmer väl överens både i ytan och i djupvattnet. Under våren 1999 och 2000 sjunker halten av nitrat i modellen kraftigt. 1999 stämmer detta väl överens med vad mätdata visar, däremot inte under 2000. Genom att samtidigt studera syrgashalten blir det tydligt att denna snabba förändring av modellens nitrathalt hänger samman med ett inflöde av nytt vatten från utanför liggande bassäng (**B04**).

## Fosfat



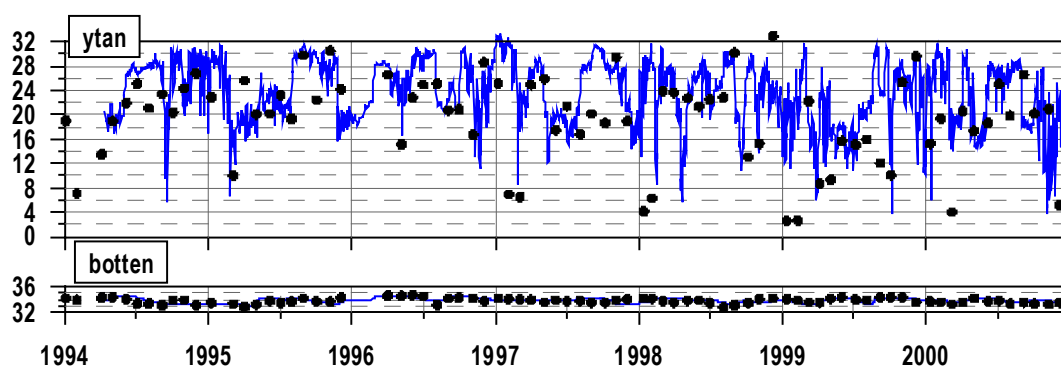
Figur 20. Jämförelse mellan modellerad fosfathalt ( $\mu\text{mol/l}$ ) från **B27** och mätdata från stationerna **Björkholmen** på 5m djup respektive **Alsbäck** på 110m djup. Lila linje visar modellresultat och svarta punkter observationer.

Även för fosfathalten stämmer modellens ytvärden väl överens med observationerna från station **Björkholmen**. I djupvattnet visar mätdata och modell på samma fenomen, nämligen att fosfathalten ökar under stagnationsperioder och vid inflöden sjunker halten dramatiskt. Återigen visar modellresultaten på vikten av att modellen beskriver utbytesprocesserna mellan bassängerna korrekt. Dessa utbytesprocesser är till avgörande del styrda av förhållandena i utsjön. Genom att vi enbart haft tillgång till månatliga värden från utsjön är det inte möjligt att fånga dynamiken på ett korrekt sätt. Dessa problem kan man dock överbygga genom att ersätta drivningen från utsjön som i nuläget är baserad på månatliga observationer med en utsjömodell.

### Saltkällefjorden (B29)

Salthalten som modellen beräknat för ytvattnet i bassängen **B29** (Saltkällefjorden), som ligger innanför Gullmarsfjorden, liknar mest den salthalt som uppmätts i stationen **Björkholmen**. Stationen ligger innanför Bornöarna, se figur 10, vilket kan bidra till att vattenkvaliteten vid stationen **Björkholmen** skiljer sig från centrala Gullmaren och mer återspeglar ytvattenkvaliteten i Saltkällefjorden. I Saltkällefjorden mynnar ett av områdets största vattendrag, Örekilsälven  $1340 \text{ km}^2$ , vilket innebär att fjordens ytvatten är tydligt utsötat och att salthalten i fjordens ytvatten varierar relativt mycket. Slutsatsen är därför att **Björkholmens** mätningar bör jämföras med modellresultaten från bassäng **B29**, Saltkällefjorden, som ligger nordost om mätpunkten. Det är vatten ur denna fjord som bestämmer egenskaperna av vattenmassan vid **Björkholmen**. Graferna nedan visar en bra överensstämmelse både i ytan och djupvattnet för alla parameter.

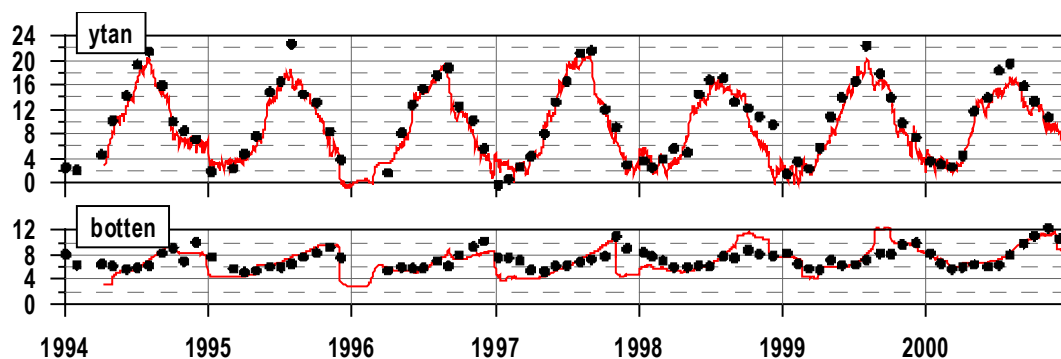
## Salthalt



Figur 21. Jämförelse mellan modellerad salthalt (PSU) från **B29** och mätdata från stationen **Björkholmen** på 0 resp. 50m. Blå linje visar modellresultat och svarta punkter observationer.

Saltkällefjorden är ett betydligt grundare havsområde än Gullmarens centralbassäng. Dessutom är tröskeln in mellan Saltkällefjorden och Gullmarens centralbassäng hela 40 m djup. Detta återspeglar sig i större dynamik i djupvattnet. Även om variationerna i salthalt är små, så är de betydligt mer variabla än i Gullmarens centralbassäng. Örekilsälvens påverkan på salthalten i ytan är tydlig med mycket stora fluktuationer i både modell och observationer.

## Temperatur

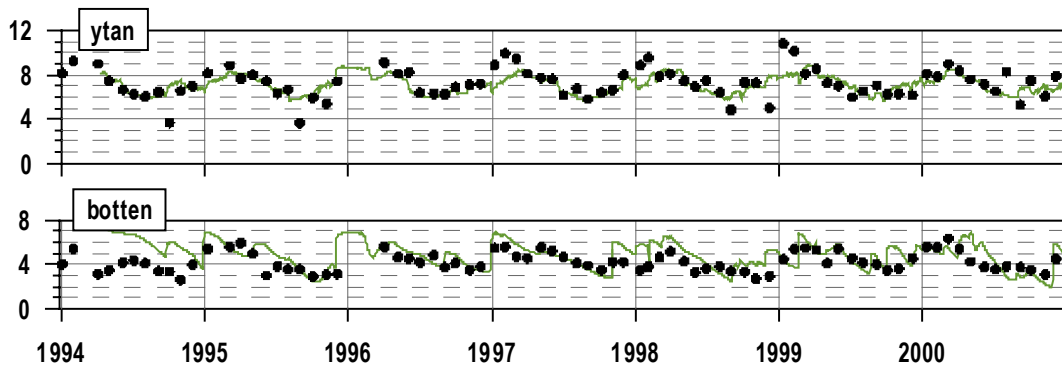


Figur 22. Jämförelse mellan modellerad temperatur (°C) från **B29** och mätdata från stationen **Björkholmen** på 0 resp. 50m. Röd linje visar modellresultat och svarta punkter observationer.

Än tydligare blir den större dynamiken i djupvattnet om man studerar temperaturfältet på 50 m djup, där både mätdata och observationer visar på en tydlig årsvariation. Figuren visar hur nytt varmt sommarvatten tränger in i havsområdet och når djupvattnet frampå höstkanten.



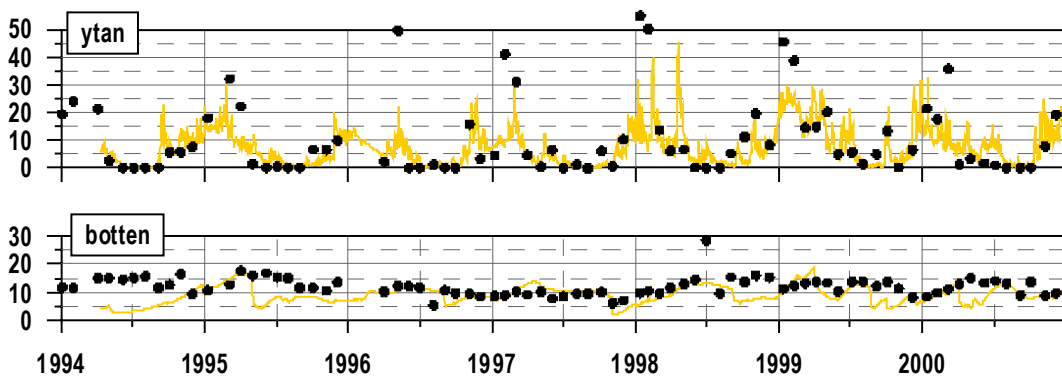
## Syrgas



Figur 23. Jämförelse mellan modellerad syrgashalt (ml/l) från **B29** och mätdata från stationen **Björkholmen** på 0 resp. 50m. Grön linje visar modellresultat och svarta punkter observationer.

Modellens variation i syrgashalt stämmer väl överens med observationer, med en dynamik som väl återspeglar verkligheten. Dock kan det påpekas att modellens vintervärden i ytan generellt är 1-2 ml/l lägre än vad observationerna antyder.

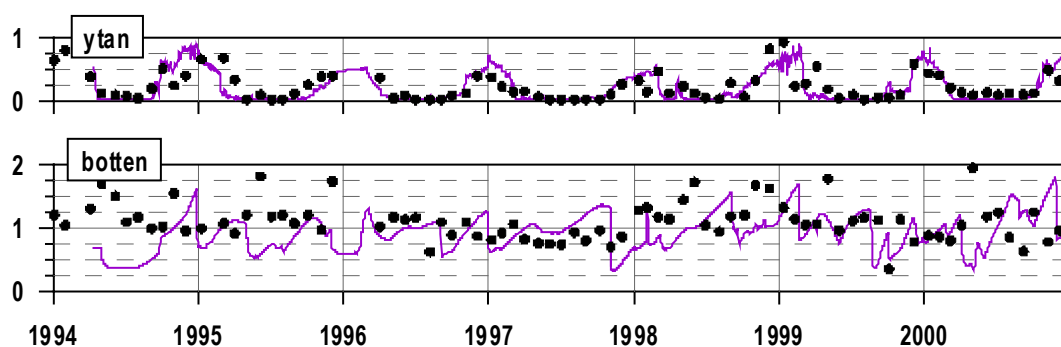
## Nitrat



Figur 24. Jämförelse mellan modellerad nitrathalt ( $\mu\text{mol/l}$ ) från **B29** och mätdata från stationen **Björkholmen** på 0 resp. 50m. Gul linje visar modellresultat och svarta punkter observationer.

Nitrathalten i modellen visar god överensstämmelse med observationer. Modellen har dock svårt att återskapa de höga nitratkoncentrationer som vissa år uppmäts vid Björkholmen. Värt att notera är att modellen i djupvattnet initialiseras med alltför låg nitrathalt, men att modellen under 1994 anpassar sig och ställer in sig på rätt nivå.

## Fosfat



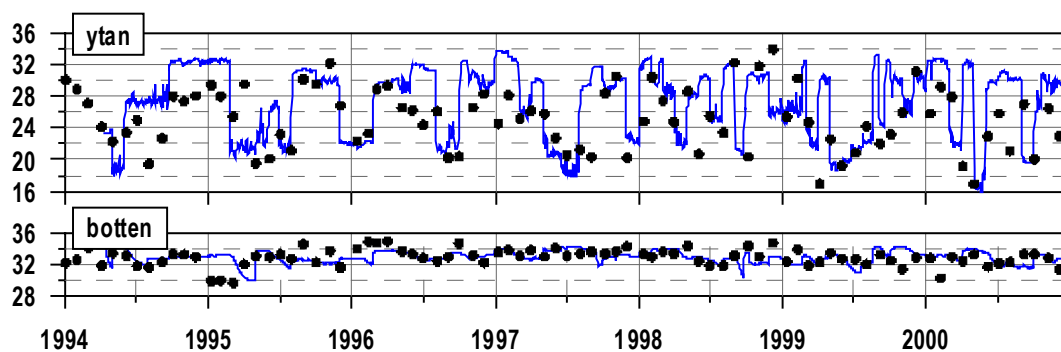
Figur 25. Jämförelse mellan modellerad fosfathalt ( $\mu\text{mol/l}$ ) från **B29** och mätdata från stationen **Björkholmen** på 0 resp. 50m. Lila linje visar modellresultat och svarta punkter observationer.

Modellens fosfathalter visar samma dynamik och värden som observationerna. Halterna i djupvattnet varierar mycket, vilket tyder på snabb omsättningstid av vattenmassan. Även här har modellen initialiserats med för låga värden, men det tar betydligt längre tid innan modellen ställer in sig på rätt nivå.

## Brofjorden (B25)

Brofjorden är ett relativt litet havsområde, se figur 10, med ett medeldjup på 8 m. Maximala djupet är på 34 m. Data från modellens bassäng **B25** (Brofjorden) jämförs med mätningar vid **Stretudden**, som ligger precis utanför tröskeln mellan Brofjorden och Bohusläns skärgårds kustvatten (**B04**).

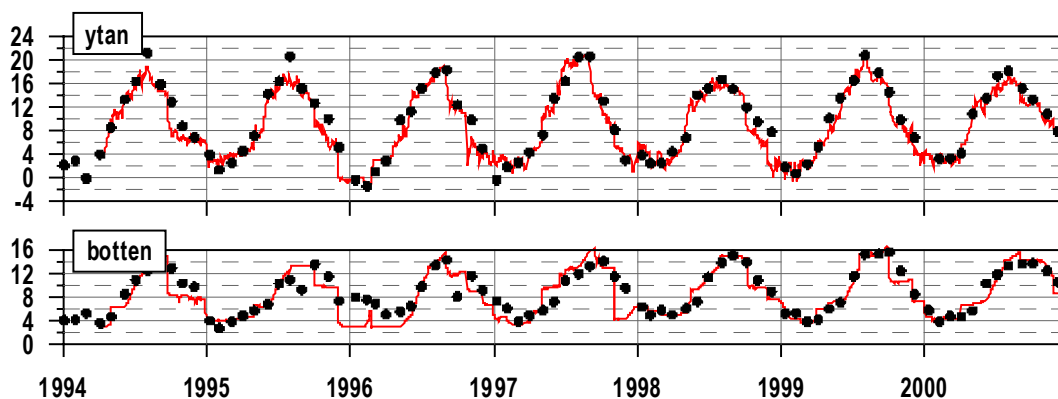
## Salthalt



Figur 26. Jämförelse mellan modellerad salthalt (PSU) från **B25** och mätdata från stationen **Stretudden**. Blå linje visar modellresultat på 0 respektive på 31 m djup (modellens maximala djup i denna bassäng) och svarta punkter observationer i ytan och mellan 30 och 40 m djup.

Mätningarna i Brofjorden visar på stora fluktuationer i ytan. Modellens salthalt är generellt något högre, även om variabiliteten väl överensstämmer med mätdata. Salthalten i djupvattnet är något mer variabel i observationerna, vilket troligen beror på att mätningarna görs i ett tröskelområde, med stor vattenomsättning och modellens värde representerar en liten vattenvolym inne i bassängen.

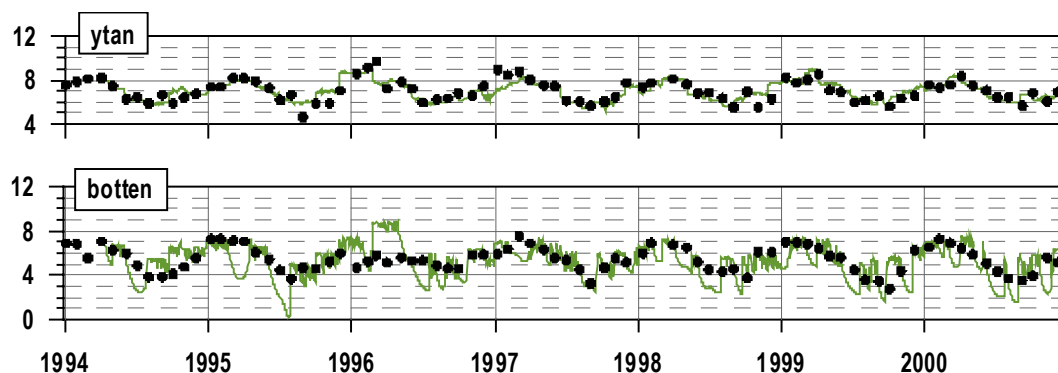
## Temperatur



Figur 27. Jämförelse mellan modellerad temperatur (°C) från **B25** och mätdata från stationen **Stretudden**. Röd linje visar modellresultat på 0 respektive på 31 m djup (modellens maximala djup i denna bassäng) och svarta punkter observationer i ytan och mellan 30 och 40 m djup.

Modellen och mätdata visar på en årlig cykel i temperaturserien både i ytan och i de djupare delarna, vilket tyder på att tröskeln intill bassängen är relativt djup (20 m) jämfört med bassängens totala djup.

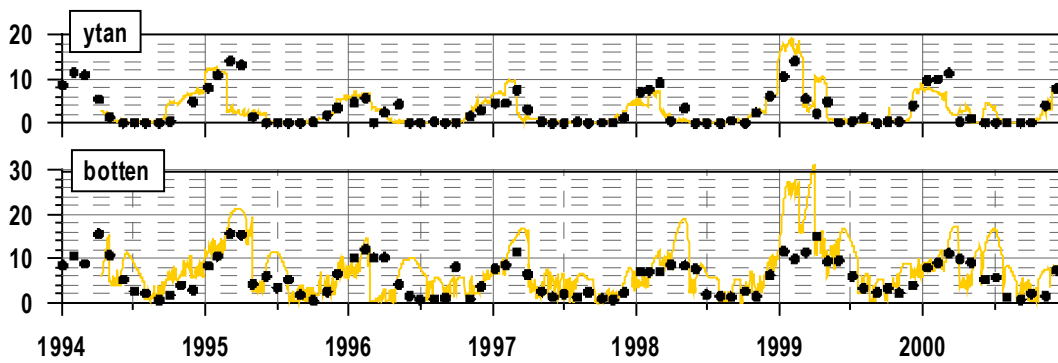
## Syrgas



Figur 28. Jämförelse mellan modellerad syrgashalt (ml/l) från **B25** och mätdata från stationen **Stretudden**. Grön linje visar modellresultat på 0 respektive på 31 m djup (modellens maximala djup i denna bassäng) och svarta punkter observationer i ytan och mellan 30 och 40 m djup.

Syrgashalten i modellen stämmer väl överens med observationerna. Modellen visar på stora fluktuationer i syrgashalt, speciellt vid botten. Vid några enstaka tillfällen avviker modellen avsevärt från den uppmätta tidsserien. Så tex förekommer väldigt låga syrgashalter i juli 1995 vilket tyder på en alltför hög syrgaskonsumtion under en stagnationsperiod som kanske varar i knappt ett halvår.

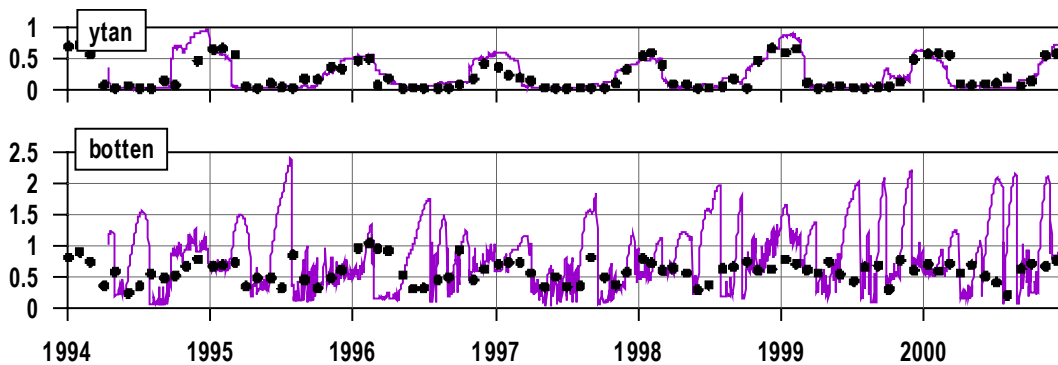
## Nitrat



Figur 29. Jämförelse mellan modellerad nitrat halt ( $\mu\text{mol/l}$ ) från **B25** och mätdata från stationen **Stretudden**. Gul linje visar modellresultat på 0 respektive på 31 m djup (modellens maximala djup i denna bassäng) och svarta punkter observationer i ytan och mellan 30 och 40 m djup.

Nitrat halten i ytan följer den förväntade årscykeln och modellen visar god överensstämmelse med observationer. Även djupvattnets nitrat halter har en tydlig årscykel, vilken kopplas samman med att djupvattnet i Brofjorden byts ut kontinuerligt, inga längre stagnationsperioder förekommer och att vattnet som kommer in från bassäng **B04** härrör från den bassängens ytvatten (över tröskeldjupet på 20m).

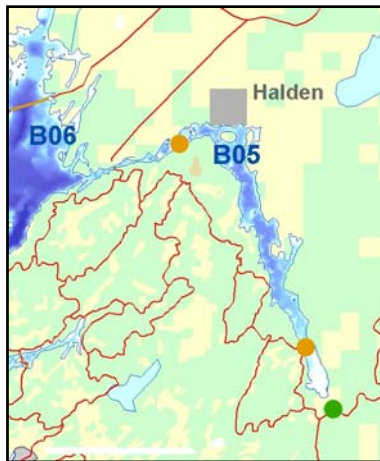
## Fosfat



Figur 30. Jämförelse mellan modellerad fosfathalt ( $\mu\text{mol/l}$ ) från **B25** och mätdata från stationen **Stretudden**. Lila linje visar modellresultat på 0 respektive på 31 m djup (modellens maximala djup i denna bassäng) och svarta punkter observationer från station i ytan och mellan 30 och 40 m djup.

Även fosfathalten i ytan följer den förväntade årscykeln i modellen. Däremot i djupvattnet har modellen alltför höga värden. Observationerna antyder att fosfathalten i djupvattnet fluktuerar under året. Modellen uppvisar stora fluktuationer. Modellens högre värden är inte kopplade till transporter från omgivande bassänger, utan har lokalt ursprung. De hänger troligen samman med modellens variabla syrgashalter.

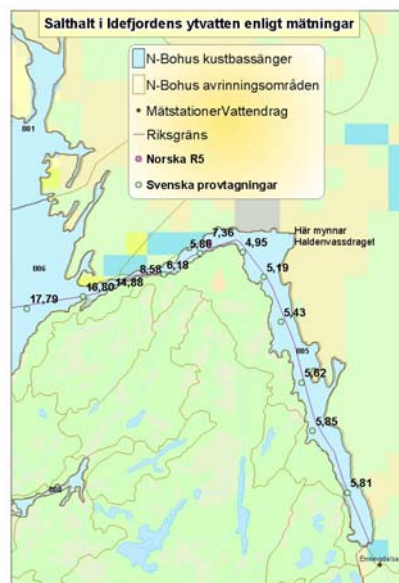
## Idefjorden (B05)



Figur 31. Hypsografisk karta över delbassäng **B05**, Idefjorden. Oranga punkter markerar positionen för stationerna **R5** och **Ide1**.

© Lantmäteriverket 2000. Ur GSD-Höjdkurvor ärende nr M00 5986.

Idefjorden är mer avsnörd från havet än Gullmarsfjorden och dessutom mottar den mer sötvatten än Gullmarsfjorden. Valideringen för Idefjorden har gjorts mot mätdata från en station i Ringdalsfjorden (data från station **R5** NIVA, Norge), som är den del av Idefjorden som ligger närmast tröskeln mot havet. För att kontrollera hur representativa mätningarna i **R5** är för hela Idefjordens ytskikt analyserades saltdata från en serie provtagningar som ägde rum på 1980-talet och där prov togs på 12 lokaler i en gradient från inre delen av fjorden och förbi tröskeln ut i havet. Resultaten från den provtagningsserien finns i SMHI:s databas **SHARK**.

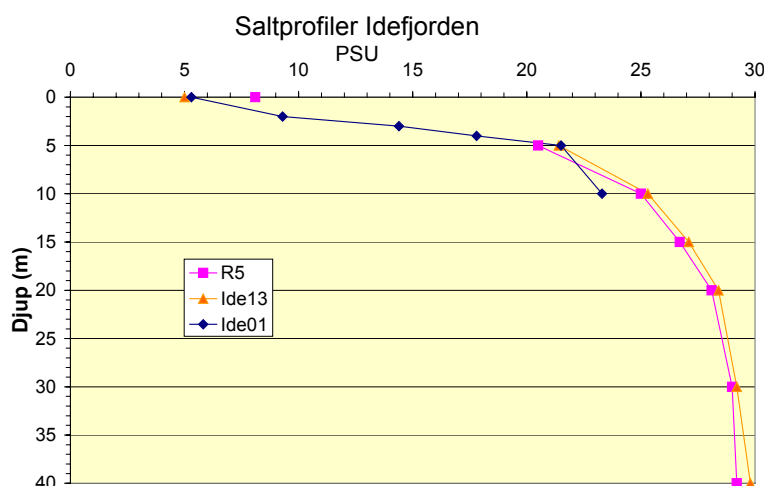


Figur 32. Medelsalthalt från Idefjorden mätt i ytan vid stationerna **R5** (under börjar på 90-talet) samt **Ide01-Ide13** under 80-talet.

Data visar att det finns horisontella skillnader i ytvattnets salthalt men att de skillnaderna är mindre än variationerna mellan delar av året och mellan år. I genomsnitt var salthalten knappt 1 PSU lägre i norra delen av fjorden jämfört med den södra delen. I den norra delen mynnar det största tillflödet, Haldenvassdraget, medan Enningdalsälven mynnar längst i söder. Tillrinningen via Haldenvassdraget är ungefär dubbelt så stor som tillrinningen via Enningdalsälven. Men de horisontella skillnaderna i ytvattnets salthalt var ändå små i relation till skillnaderna i salthalt över tröskeln till havet utanför fjorden.

Mätdata visar dock på en annan faktor som kan vara kritisk för jämförelsen mellan modellberäknade data och uppmätta, nämligen den skarpa saltgradienten i ytvattnet. Mätningarna i vertikalled är oftast inte tillräckligt täta för att fånga upp gradienten. Det innebär också att det är svårt att kontrollera hur bra modellen fångar upp saltgradienten i ytskiktet.

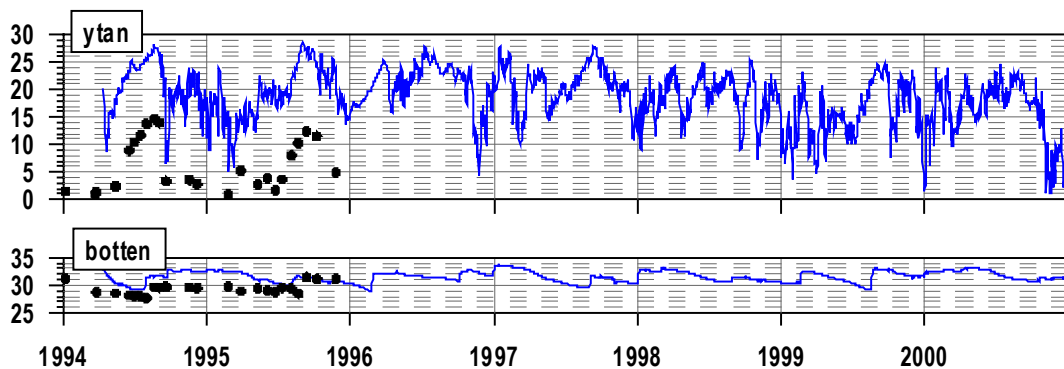
Mätobservationer saknas oftast mellan ytan och 5 meters djup. Mellan dessa två djup var den genomsnittliga salthaltsdifferensen 12 PSU i stationen **R5** i Ringdalsfjorden (Figur 33). I Figur 33 visas också den skarpa gradienten med mätdata från en station (**Ide01** i södra delen av Idefjorden) med tätare provtagning i det ytligare vattnet.



Figur 33. Genomsnittliga salthalter i vattenprov tagna på tre olika ställen i Idefjorden. **R5** (data från NIVA i Norge) är den stationen i Ringdalsfjorden som modellens resultat jämfördes med. **R5** är data från första hälften av 1990-talet. **Ide13** ligger också i Ringdalsfjorden men dessa data är från 1980-talet (data från **SHARK** databasen). **Ide01** ligger långt söderut i Idefjorden och data hör till samma provtagningsserie som data från **Ide13**. Grafen visar den skarpa saltgradient som finns i ytskiktet.

Att variationerna i ytvattnet är relativt stora visas också av de två genomsnittliga saltprofiler (Figur 33) som är beräknade på data från två olika stationer belägna i samma del av Idefjorden, nämligen i Ringdalsfjorden. Det är saltprofilen från stationen **Ide13** som baseras på en provtagningsserie från 1980-talet och saltprofilen från stationen **R5**, som baseras på prov från första hälften av 1990-talet. Enligt dessa data var den genomsnittliga salthalten i ytvattnet ca 3 PSU lägre på 1980-talet jämfört med 1990-talets första hälft. Skillnaden kan delvis bero på att sötvattentillförseln var högre på 1980-talet (ca 15 % beräknat på data från vattenföringsstationen Vassbotten i Enningdalsälven). Men skillnader kan också orsakas av att salthalten i ytan varierar mycket under säsongen (se Figur 34) och att de svenska mätningarna inte fördelats systematiskt i tiden på samma sätt som de norska från stationen **R5**.

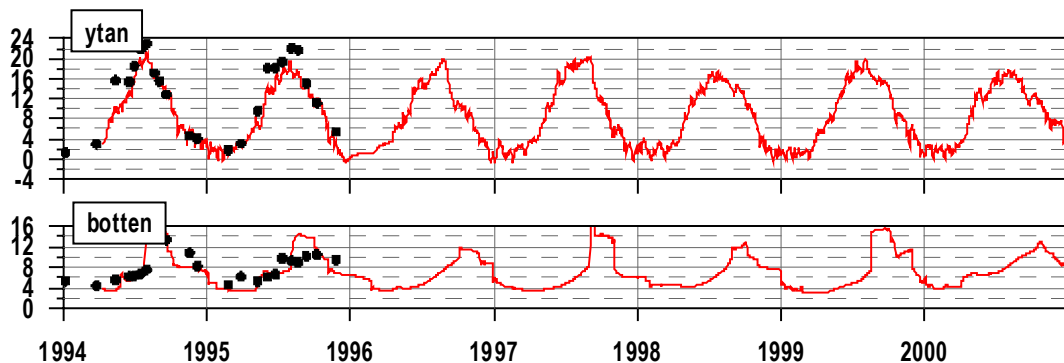
## Salthalt



Figur 34. Jämförelse mellan modellerad salthalt (PSU) från **B05** och mätdata från stationerna **R5** på 0 resp. 34-35m. Blå linje visar modellresultat och svarta punkter observationer.

Mätserien och modellens simuleringsperiod överlappar varandra endast med två år, men redan på den korta perioden är det tydligt att modellens salthalt i ytan är betydligt högre än vad observationerna visar. Vilket troligen hänger samman med antagandet att endast hälften av Glommas vatten tar sig söderut mot Idefjorden. I syfte att bättre återskapa rätt vattenmassa i Idefjorden bör en bättre algoritm för Glommavattnets påverkan på Idefjorden utvecklas. Även om det är svårt att uttala sig om skillnader mellan mätserier och modellens tidsserie då mätserien är så kort, så ter det sig som om modellens djupvatten har något för hög salthalt.

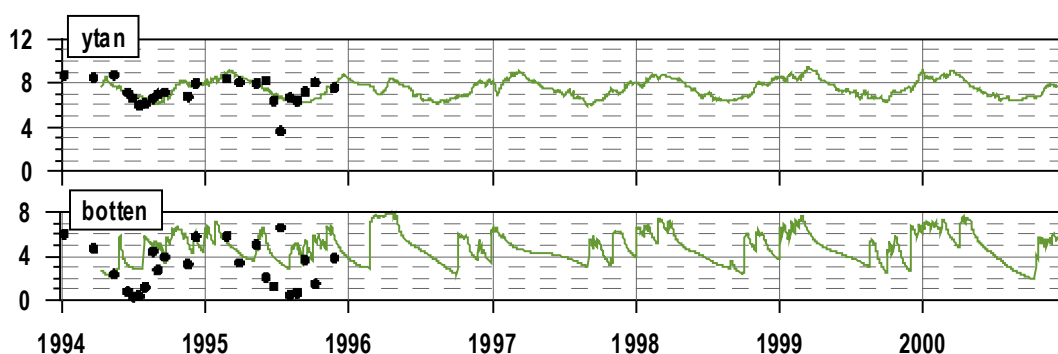
## Temperatur



Figur 35. Jämförelse mellan modellerad temperatur (°C) från **B05** och mätdata från stationerna **R5** på 0 resp. 34-35m. Röd linje visar modellresultat och svarta punkter observationer.

Temperaturfäkten i modellen och mätdata uppvisar då betydligt bättre överensstämmelse, vilket hänger samman med att temperaturen styrs av lokala processer, såsom uppvärmning, och inte lika mycket av färskvattentillflödet.

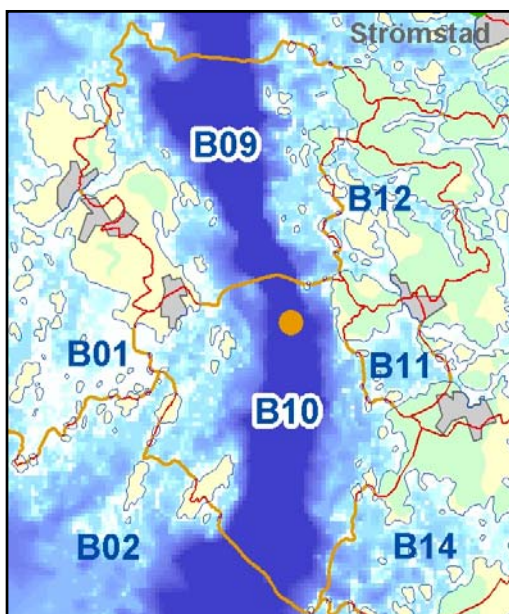
## Syrgas



Figur 36. Jämförelse mellan modellerad syrgashalt (ml/l) från **B05** och mätdata från stationerna **R5** på 0 resp. 34-35m. Grön linje visar modellresultat och svarta punkter observationer.

Modellens syrgashalt i ytan stämmer väl överens med uppmätta data. I djupvattnet däremot verkar det som om modellens koncentrationer aldrig når under 2 ml/l, medan mätdata antyder att syrgashalten når ner till 0 ml/l årligen i samband med att produktionssäsongen nått sin kulmen.

## Kosterfjorden (B10)



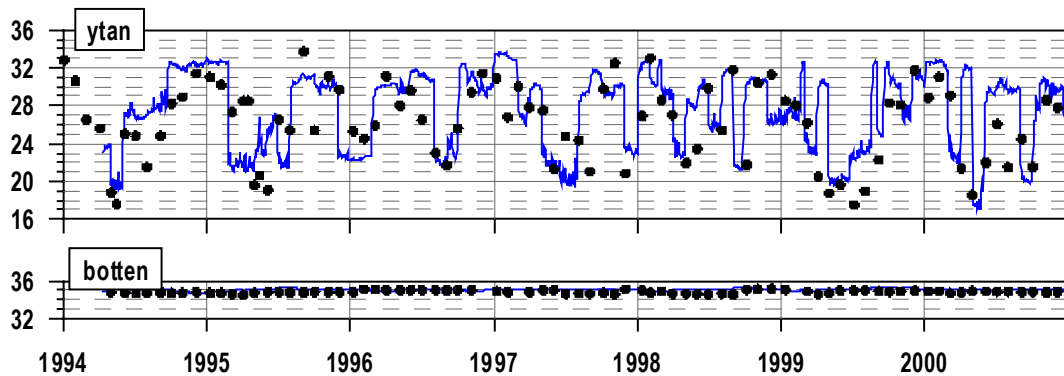
Figur 37. Hypsografisk karta över delbassängerna **B09**, n Kosterfjorden, och **B10**, s Kosterfjorden. Orange punkt markerar positionen för station **Kosterfjord**.

© Lantmäteriverket 2000. Ur GSD-Höjdkurvor ärende nr M00 5986.

Kosterfjorden är ett djupt havsområde med ett maxdjup på över 200 m (enl. **SVAR**). I **SVAR** är dessutom fjorden uppdelad i två delbassängar vilka båda har en öppen förbindelse med omgivande havsområden utan några uttalade tröskelområden. I Kosterfjordens södra del finns en mätstation nära tröskeln till den norra delen. Data från denna station jämförs med data från modellens bassäng **B10**, s Kosterfjorden.



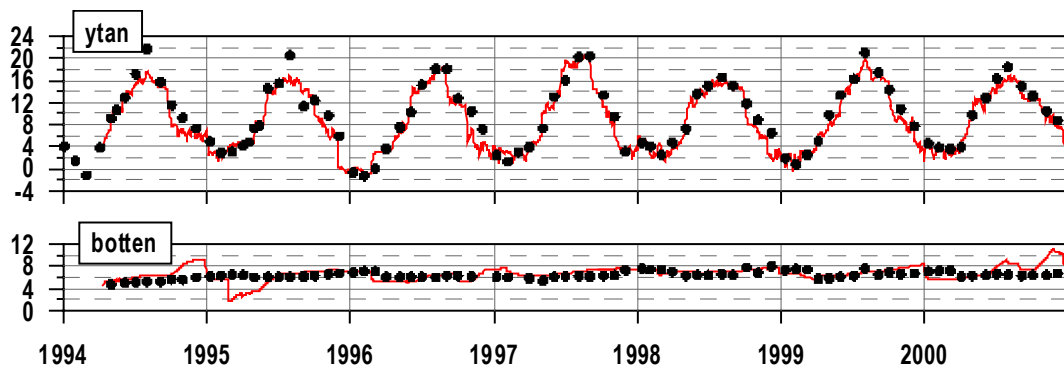
## Salthalt



Figur 38. Jämförelse mellan modellerad salthalt (PSU) från **B10** och mätdata från station **Kosterfjorden**. Blå linje visar modellresultat på 0 respektive på 232 m djup (modellens maximala djup i denna bassäng) och svarta punkter observationer i ytan och mellan 240 och 247m djup.

Salthaltvariationerna i ytan är till stora delar styrd av Glommavattnets utbredning. Både modell och mätningar visar på stora fluktuationer, och med god överensstämmelse sinsemellan. Tidsserierna visar också på ett relativt stagnant djupvatten, med små variationer. Detta vatten är till stor del styrt av tillståndet i utsjön.

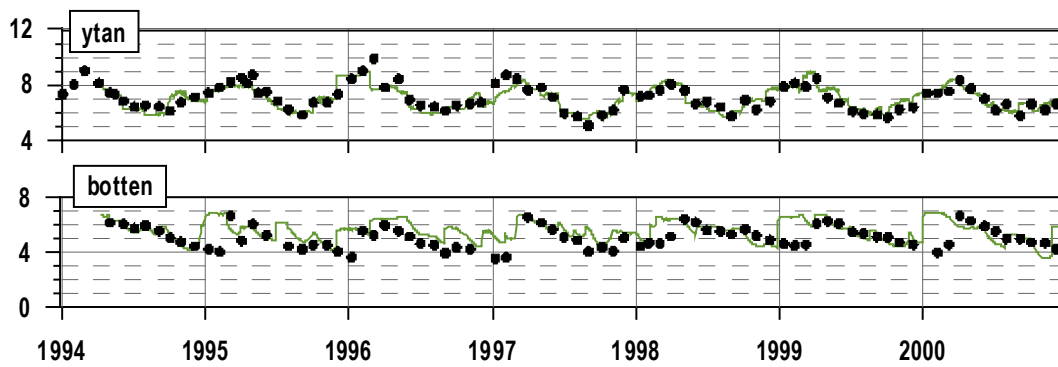
## Temperatur



Figur 39. Jämförelse mellan modellerad temperatur (°C) från **B10** och mätdata från station **Kosterfjorden**. Röd linje visar modellresultat på 0 respektive på 232 m djup (modellens maximala djup i denna bassäng) och svarta punkter observationer i ytan och mellan 240 och 247m djup.

Tidsserien av temperatur i djupvatten visar på ett något mer variabelt djupvatten än mätningarna, men i stort sett stämmer de båda tidsserierna väl överens.

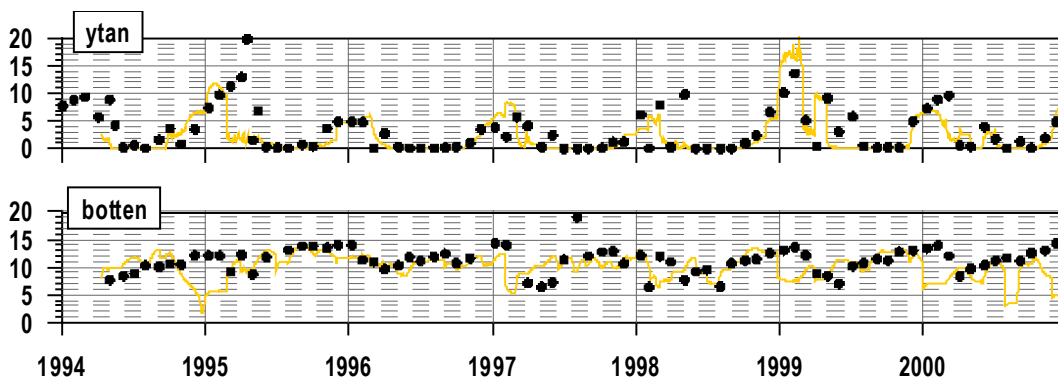
## Syrgas



Figur 40. Jämförelse mellan modellerad syrgas (ml/l) från **B10** och mätdata från station **Kosterfjorden**. Grön linje visar modellresultat på 0 respektive på 232 m djup (modellens maximala djup i denna bassäng) och svarta punkter observationer i ytan och mellan 240 och 247m djup.

Syrgashaltens variationer i det uppmätta djupvattnet visar på en årlång stagnationsperiod i området, men under våren ersätts djupvattnet med nytt syrgasrikt vatten även i de djupaste delarna. Modellens syrgashalter fluktuerar något mer, men visar ändå väl överensstämmelse med mätdata.

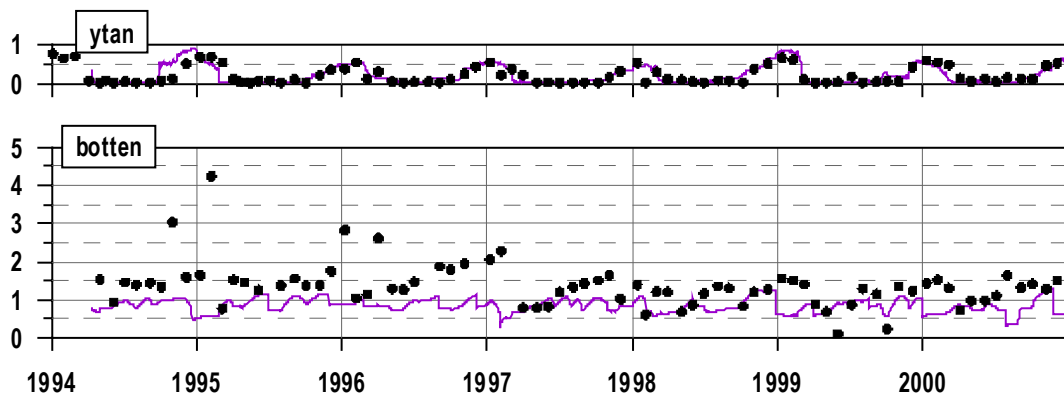
## Nitrat



Figur 41. Jämförelse mellan modellerad nitrat ( $\mu\text{mol/l}$ ) från **B10** och mätdata från station **Kosterfjorden**. Gul linje visar modellresultat på 0 respektive på 232 m djup (modellens maximala djup i denna bassäng) och svarta punkter observationer i ytan och mellan 240 och 247m djup.

Både modell och mätningar visar på en typisk årscykel av nitrathalter, med höga vintervärden och en tömning av nitratpoolen under produktionssäsongen. Vintervärdena i ytan uppvisar i stort sett likartade värden, man kan dock ana att modellen under vissa år (exempelvis 1995 och 2000) har en tidigare igångsättning av vårbloomingen och tömmer vattenmassans vinterpool betydligt snabbare än mätdata visar.

## Fosfat



Figur 42. Jämförelse mellan modellerad fosfat ( $\mu\text{mol/l}$ ) från **B10** och mätdata från station **Kosterfjorden**. Lila linje visar modellresultat på 0 respektive på 232 m djup (modellens maximala djup i denna bassäng) och svarta punkter observationer i ytan och mellan 240 och 247m djup.

Fosfathalten i ytan stämmer väl överens mellan observationer och modellens värde. I djupvattnet har dock modellen alltför låga värden, vilket troligen hänger samman med för låg halt av organiskt material i djupvattnet, vilket kan brytas ner och bilda bl.a. fosfat i djupvattnet.

## Transportberäkningar

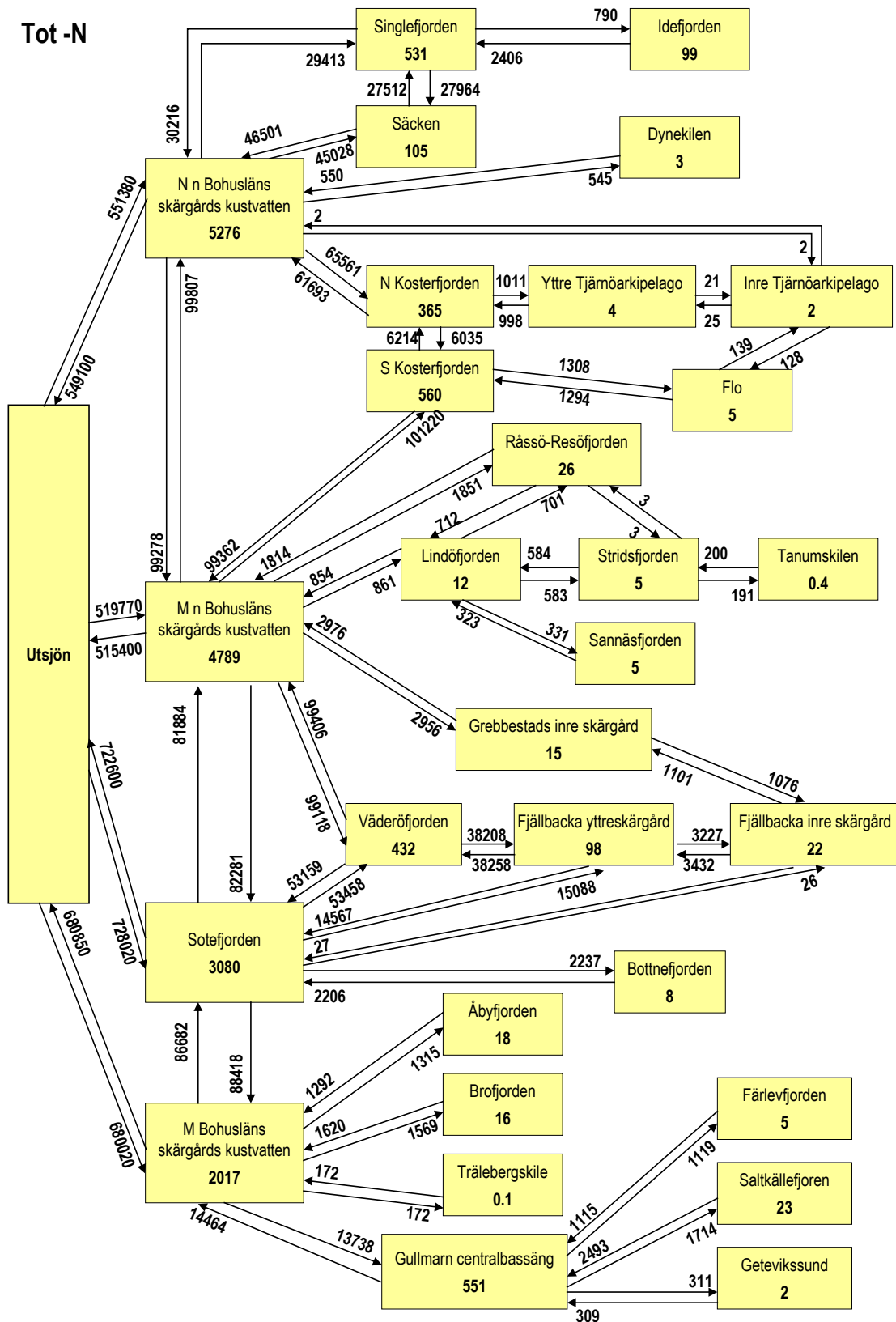
Efter att ha genomfört en validering av modellens resultat och funnit att modellen ger tillförlitliga resultat, kan man också bestämma flöden av tex. total-kväve och total-fosfor m.h.a. modellen.

### Total-kväve

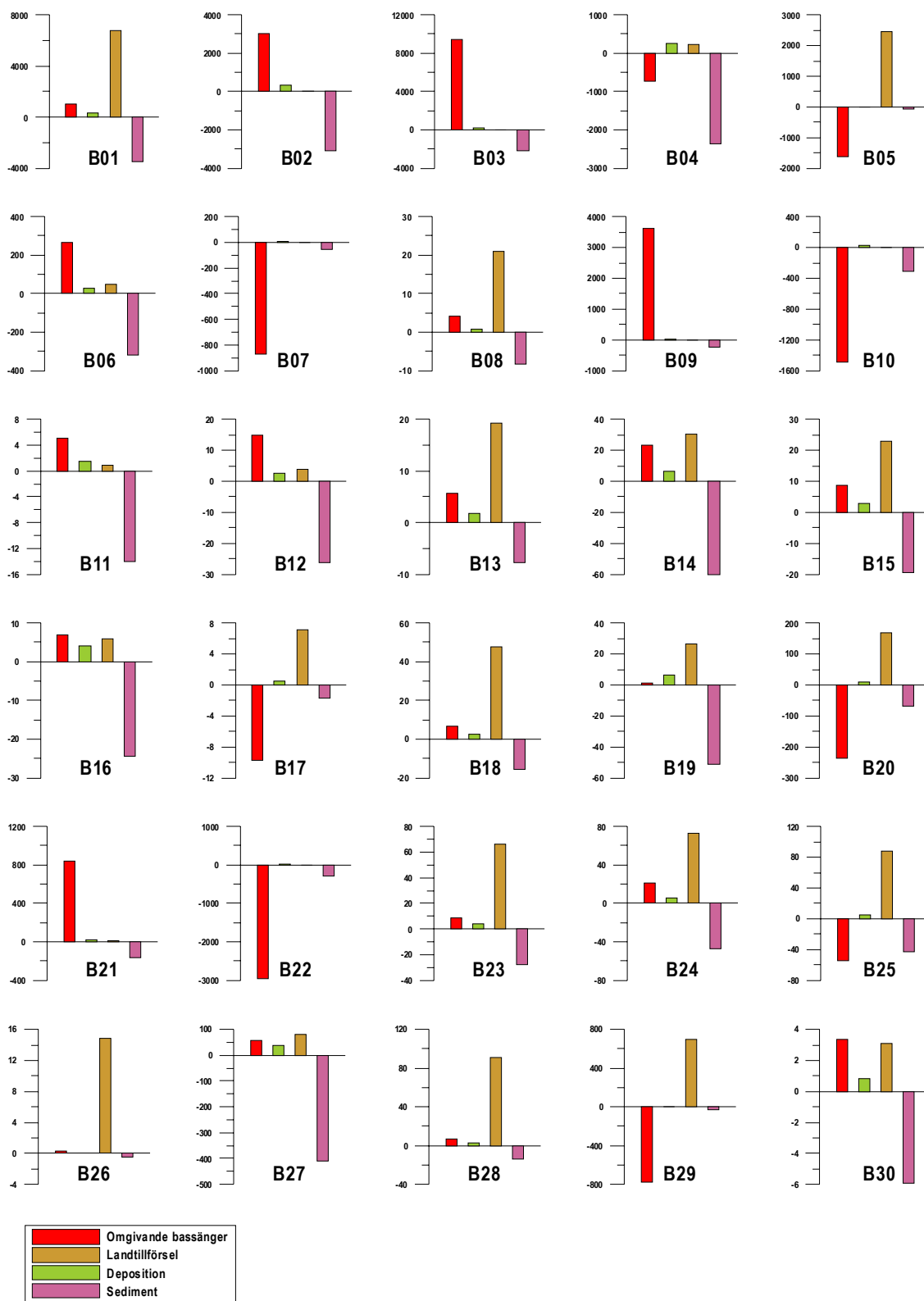
Figur 43 visar flöden av total-kväve som modellen beräknat mellan bassängerna. Värt att notera är att det sker en nettoimport av total-kväve från utsjön till kustzonen i detta område. Den norra delen av Bohusläns skärgård består mestadels av relativt öppna havsområden med stort vattenutbyte. Det får till följd att miljötillståndet i skärgården i detta område är mycket beroende av förändringar som sker i Skagerack. Idefjorden utgör ett undantag, med sitt trånga inlopp och långsmala utsträckning. Flödesberäkningarna visar också att från Gullmarssystemet sker en nettoexport av total-kväve till utsjön.

Genom budgetberäkningar i varje havsområde kan man med hjälp av Kustzonsmodellen fastställa storleken på belastningen havsområdesvis. Figur 44 visar ett exempel på sådana budgetberäkningar för total-kväve, i form av stapeldiagram, där varje stapel anger nettotransporter. Notera att den export som sker till sedimenten till viss del försvinner från systemet genom denitrifikation i sedimenten, men att resterande del fortfarande är tillgänglig till systemet och kan vid gynnsamma förhållanden återföras till vattenmassan.

Tot -N



Figur 43. Flöden av total-kväve (ton/år) mellan bassängerna i Bohusläns norra skärgårdsområde, beräknade m.h.a. Kustzonsmodellen. Siffran i varje bassäng anger ett årsmedelvärde av ton total-kväve i vattenmassan.

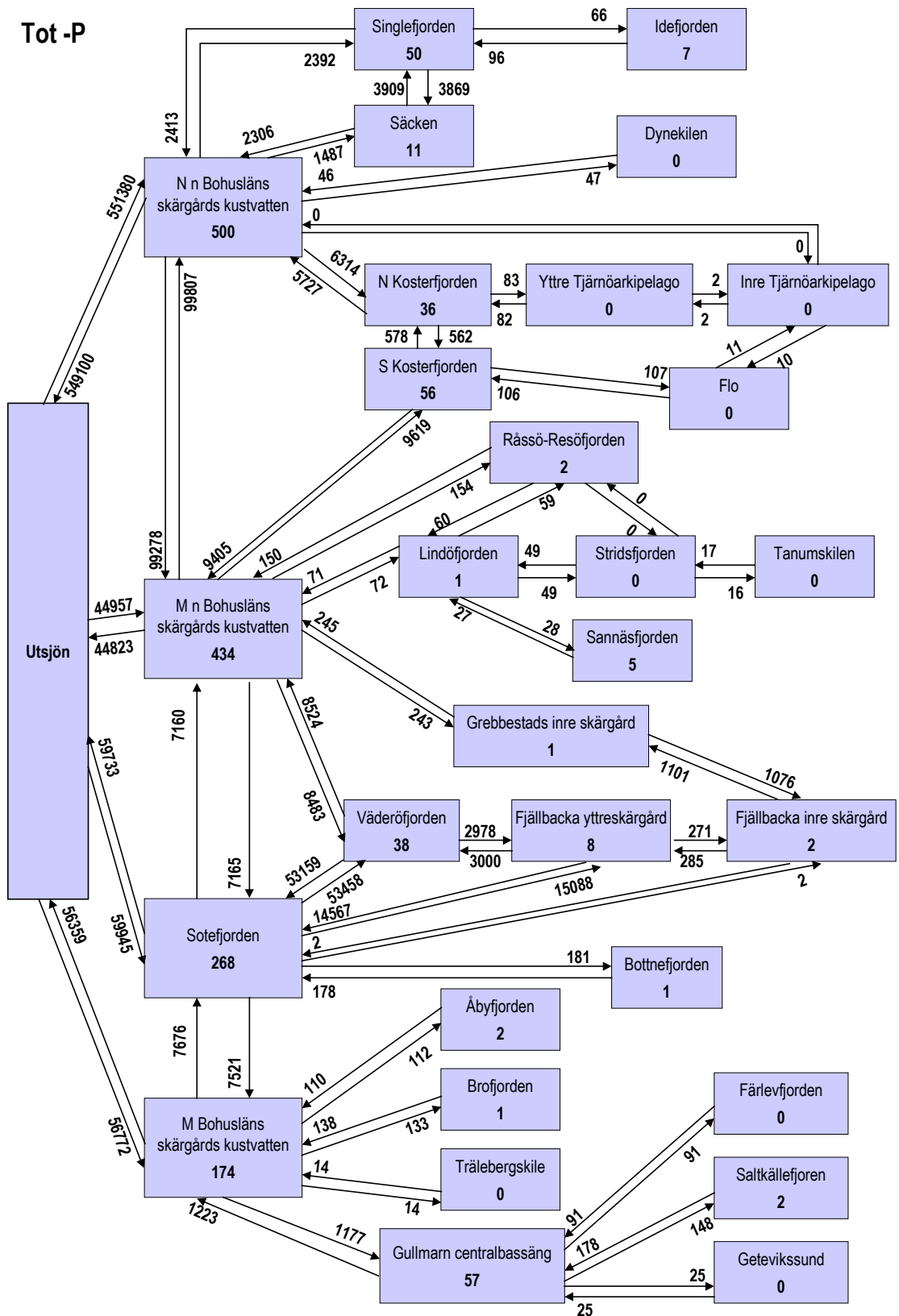


Figur 44. Transporter av total-kväve till och från varje bassäng. Notera att skalan är individuell för varje bassäng och varierar mycket från område till område. Positiva värden innebär import av total-kväve, negativa export.

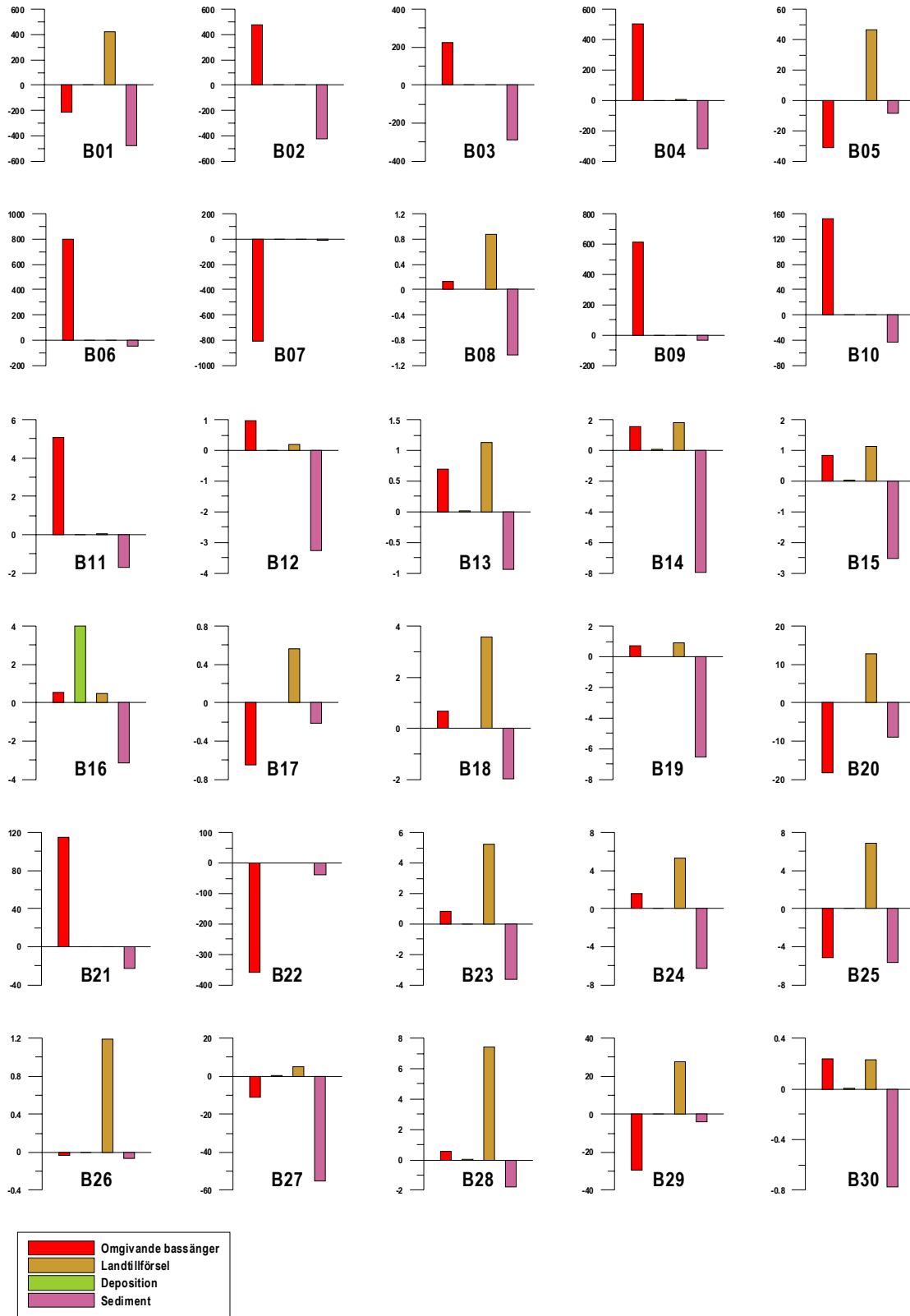
## Total-fosfor

På samma sätt som för total-kväve sker en nettoimport av total-fosfor från utsjön till kustzonen. En stor skillnad är dock att den nettoexport av total-fosfor från Gullmarssystemet som sker ej når Skagerack, utan blir kvar i bassäng **B04**, M Bohusläns skärgårds kustvatten. Motsvarande havsområdesvisa budgetberäkningar som gjorts för total-kväve har även genomförts för total-fosfor och vars stapeldiagram återfinns i figur 46.

Tot -P



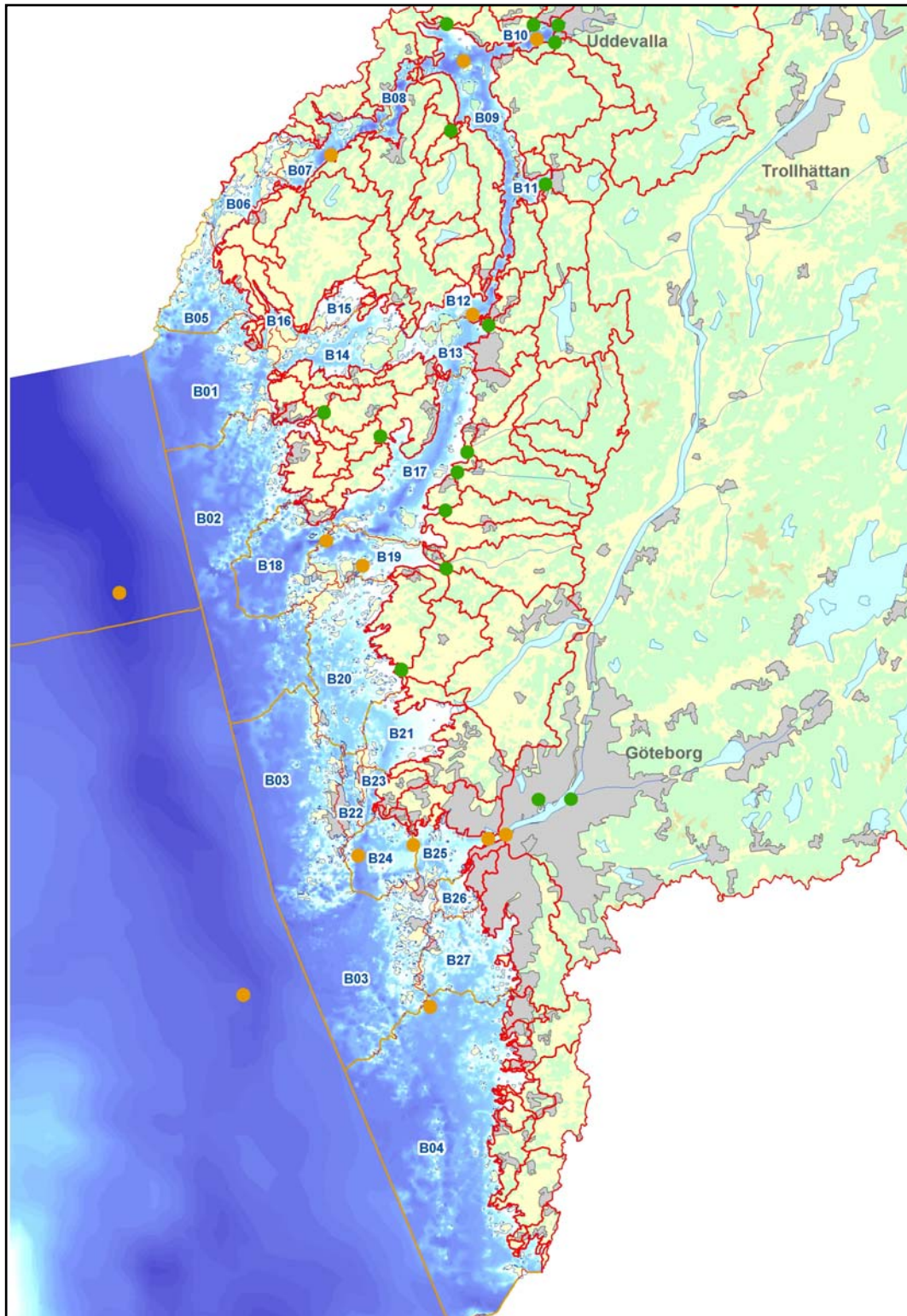
Figur 45. Flöden av total-fosfor mellan bassängerna i Bohusläns norra skärgårdsområde, beräknade m.h.a. Kustzonsmodellen. Siffran i varje bassäng anger ett årsmedelvärde av ton total-fosfor i vattenmassan.



Figur 46. Transporter av total-fosfor till och från varje bassäng. Notera att skalan är individuell för varje bassäng och varierar mycket från område till område. Positiva värden innebär import av total-fosfor, negativa export.



## Bohusläns södra skärgård



Figur 47. Översiktskarta över hela modellområdet för Bohusläns södra skärgård. De orange punkterna markerar marina mätstationer, medan gröna punkter markerar landbaserade mätstationer. Utanför modellområdet, i Kattegatt finns ytterligare två stationer markerade P2 i norr och GF4 i söder, vilka tillsammans utgör drivningen från utsjön i modellen.

© Lantmäteriverket 2000. Ur GSD-Höjddurvor ärende nr M00 5986

## Områdesbeskrivning

Kustzonssystemet i Bohusläns södra skärgård sträcker sig från fjordssystemet kring öarna Orust och Tjörn i norr t.o.m. kustvattnet väster om Onsalahalvön i söder. Enl **SVAR** utgörs södra Bohuslän av 35 havsområden. I princip följer vi dessa i uppsättningen av modellen. I syfte att förenkla modelluppsättningen så mycket som möjligt har några sammanslagningar av havsområden gjorts i modelluppsättningen.

De yttre bassängerna har det gemensamt att de alla är väldigt öppna mot utsjön, och kommer därför att påverkas av utsjön till stor del. En sammanslagning gjordes därför av Hjaltefjorden och Gbg nn skärgårds kustvatten samt av Gbg n skärgårds kustvatten och Gbg s skärgårds kustvatten. Dessa fyra drivs alla av Kattegatt bassängen. Eftersom det sydligaste havsområdet i Bohusläns skärgård, Askims fjord, har en öppen förbindelse, har även havsområdet Onsala kustvatten inkluderats i denna uppsättning av Kustzonsmodellen, om än i en förenklad beskrivning då detta havsområde tillhör Hallands län. I syfte att förenkla indatahanteringen är ambitionen att begränsa uppsättningen av Kustzonsmodellen och i möjligaste mån följa länsgränserna. För Onsala kustvatten innebär förenklingen att alla små havsområden längs Onsala halvöns västra kust har inkluderats i delbassäng B04. Havsområdet Onsala kustvatten och de innanföriggande havsområdena kommer att beskrivas bättre i en framtida uppsättning av Kustzonssystemet i Hallands kustvatten.

Slutligen har några mindre havsområden inomskärs slagits samman eftersom havsområdesindelningen ej följer en naturlig avgränsning med tydliga trösklar mellan fjordarna. Det innebär att norr om Orust behandlas Ellösefjorden, Malö strömmar och Snäckedjupet som en bassäng i modellen, samt Nordströmmarna, Koljöfjorden och Borgilefjorden som en bassäng. Dessutom har Sälöfjord och Källöfjord söder om Tjörn slagits samman till en bassäng av samma orsak.

Sammantaget indelas modellområdet i 27 delbassänger.

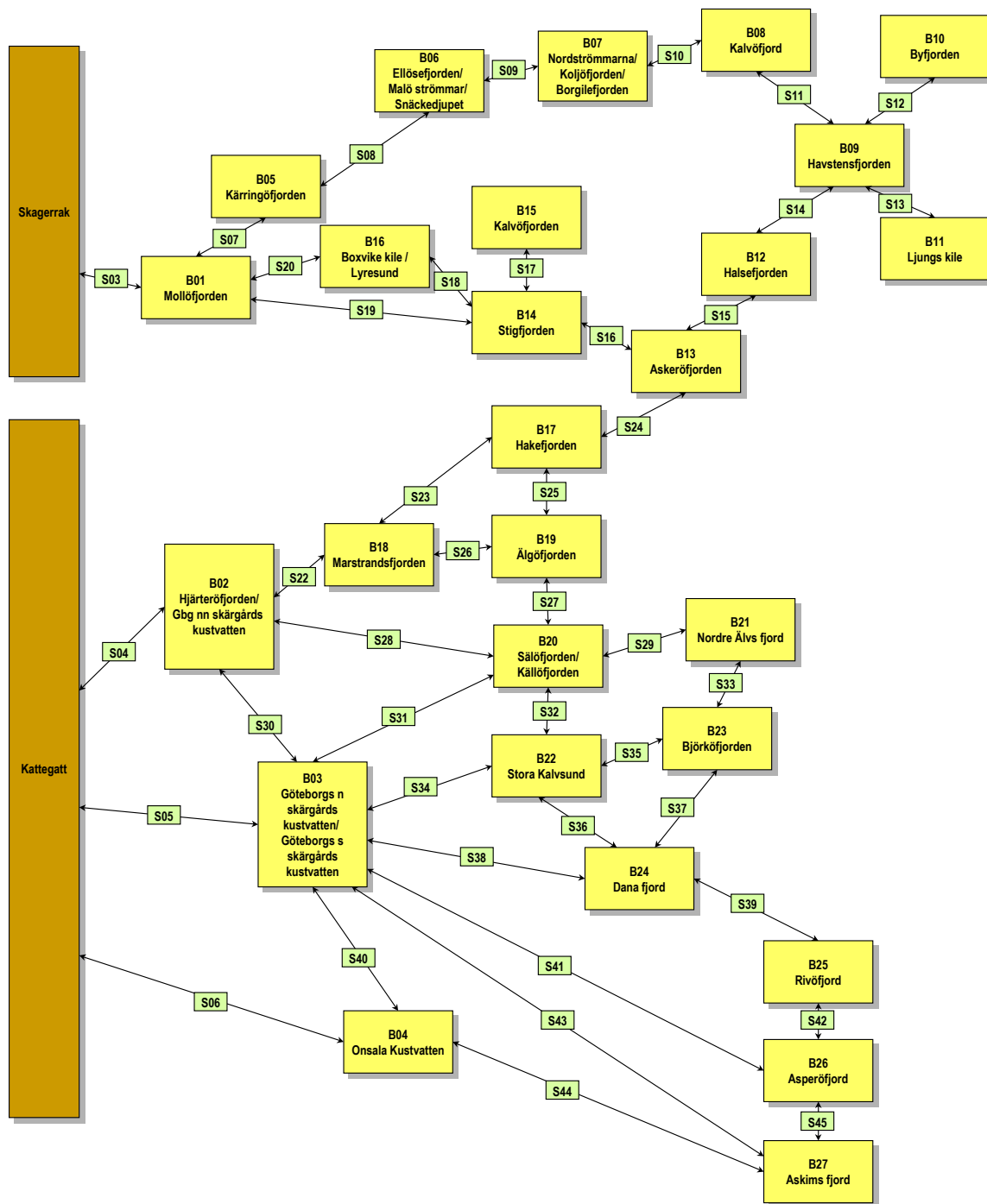
Göta älv är det största vattendraget i södra Sverige och älven delas i två grenar innan den mynnar i två av modellområdets bassänger. Göta älvs Göteborgsgren mynnar i modellens bassäng 25 och den andra grenen, som kallas Nordre älv, mynnar i bassäng nr 21. I tabell 2 är arean på hela Göta älvs avrinningsområde exklusive Nordre älv inkluderat i tillrinningsområdet till bassäng nr 25 medan arean för området med avrinning till bassäng 21 endast omfattar området nedströms förgreningen mellan Nordre älv och Göta älvs Göteborgsgren. Det genomsnittliga flödet via Nordre älv är dock högre än i Göteborgsgrenen. Genom att arealerna för Göta älvs avrinningsområdena i tabell 2 inte redovisats både för Nordre älv och Göteborgsgrenen så utgör summan av delområdenas arealer den totala arean för modellområdets tillrinningsområde: 52 256 km<sup>2</sup>.

Områdets näst största vattendrag är Bäveån, som mynnar i den nordligaste delen av området, i Byfjorden bassäng 10. Avrinningsområden på Orust och Tjörn finns definierade i SMHI:s avrinningsområdesregister, så dessa ingår i modellsystemet på samma sätt som avrinningsområden på fastlandet. Områden på små öar är också inkluderade i de redovisade areorna i tabell 2 men dessa är genererade från kartunderlag som ännu inte är inlagda i SVAR. Två av kustvattenområdena har enbart tillrinning från små öar.

Sunden som sammanbinder de olika modellbassängerna beskrivs i modellen i form av dess tvärsnittsytta. Utifrån digitala sjökort bestäms djupfördelningen av sundets tvärsnittsytta. Modellen använder sedan en förenklad beskrivning av tvärsnittsytans form där den viktiga aspekten är att beskriva maximala djupet korrekt, den totala tvärsnittsytan samt tvärsnittsytans form. Eftersom sammanbindningen mellan delbassängerna är avgörande för vattenutbytet har varje sund kontrollerats manuellt utifrån vanliga sjökort. Därför kan det i vissa fall vara stora skillnader mellan det maximala djupet som beräknats

från de digitala sjökorten och det maximala djup som används i modellen. I ett fåtal sund har även tvärsnittsarean justerats.

### Bohusläns södra skärgård

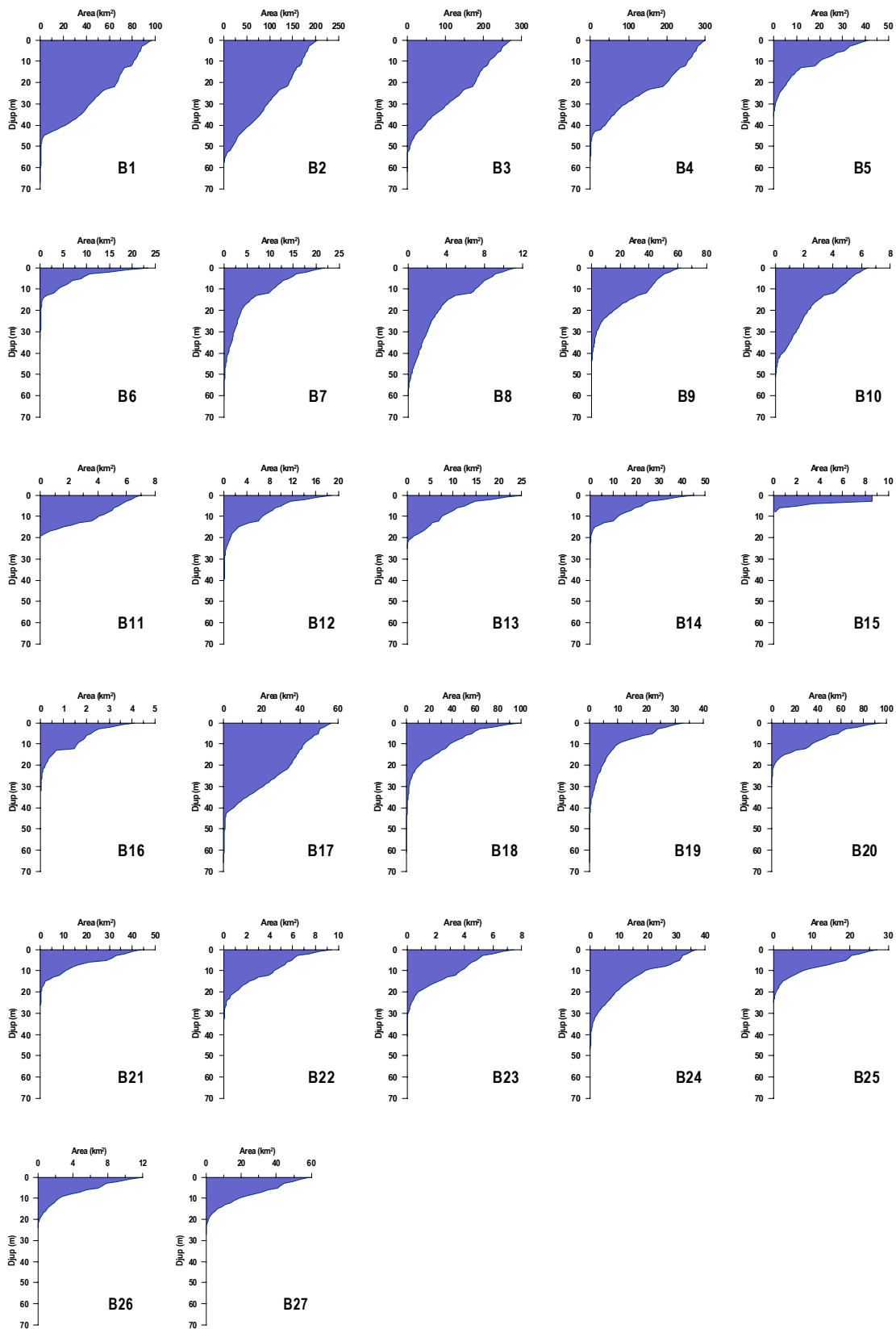


Figur 48. Schematisk beskrivning över bassängindelningen samt kopplingar mellan delbassängerna i modelluppsättningen för den södra delen av Bohusläns skärgård.

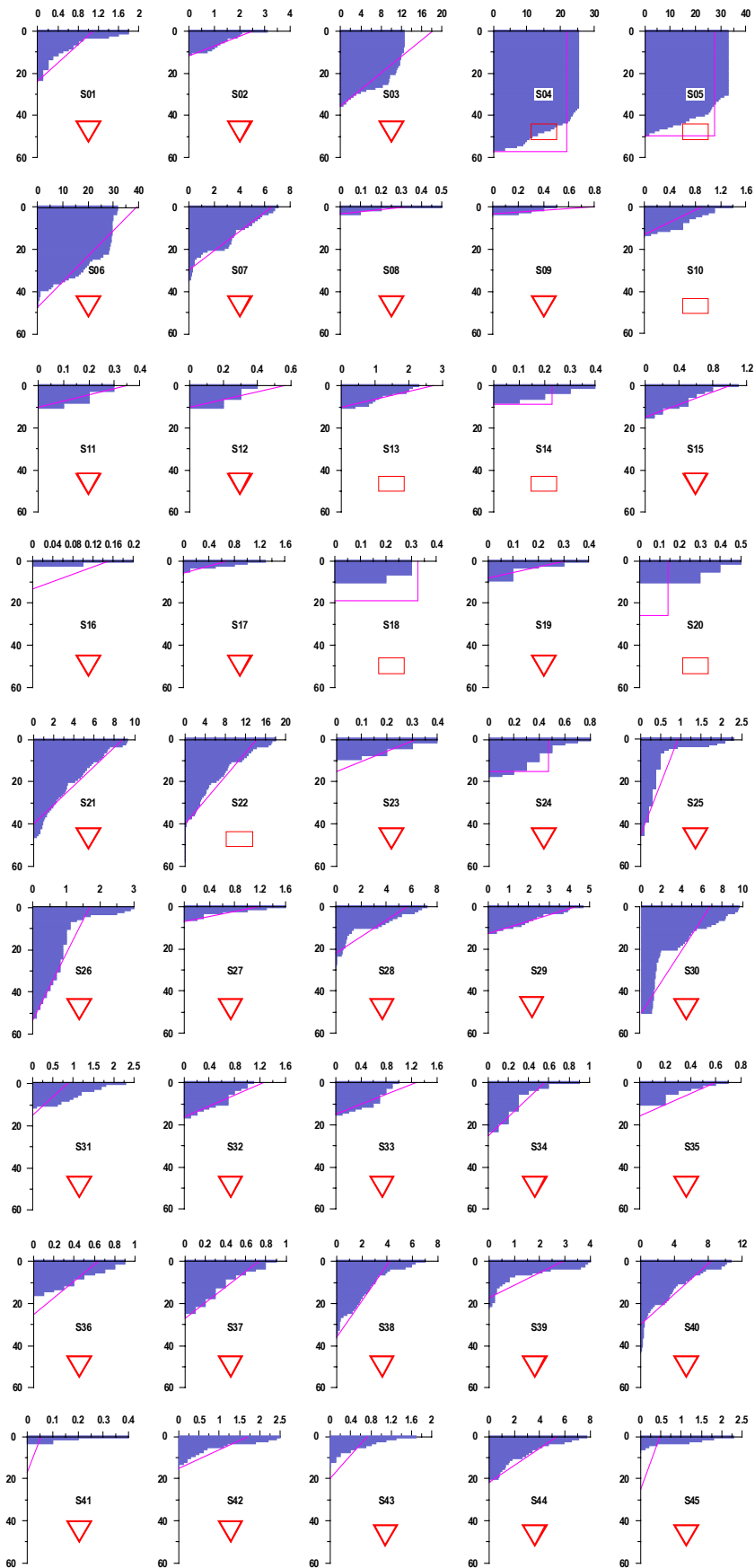


Tabell 2. Modelluppsättningens bassängbeteckningar och ytareor samt tillrinningsområdenas areor. Bassängernas ytarea är hämtade från **SVAR** (Svenskt VattenARKiv), se SMHI Oceanografi Nr 73, 2003.

<b>Bassäng</b>	<b>Bassängnamn SVAR</b>	<b>Ytarea (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Tillr.omr. (km<sup>2</sup>)</b>
<b>B01</b>	Mollöfjorden	91.3	17
<b>B02</b>	Hjärteröfjorden/ Göteborgs n n skärgårds kustvatten	191.9	68
<b>B03</b>	Göteborgs n skärgårds kustvatten/ Göteborgs s skärgårds kustvatten	257.9	25
<b>B04</b>	Onsala kustvatten	286.9	131
<b>B05</b>	Käringöfjorden	35.8	19
<b>B06</b>	Ellösefjorden/Malö Strömmar/Snäckedjupet	14.9	31
<b>B07</b>	Nordströmmarna/Koljö fjord/ Borgilefjorden	17.8	81
<b>B08</b>	Kalvöfjord	9.8	60
<b>B09</b>	Havstensfjorden	54.3	201
<b>B10</b>	Byfjorden	5.9	369
<b>B11</b>	Ljungs kile	6.3	128
<b>B12</b>	Halsefjorden	14.1	65
<b>B13</b>	Askeröfjorden	18.2	56
<b>B14</b>	Stigfjorden	32.0	34
<b>B15</b>	Kalvöfjorden	8.6	83
<b>B16</b>	Lyresund/Boxvike kile	3.0	15
<b>B17</b>	Hake fjord	52.8	272
<b>B18</b>	Marstrandsfjorden	75.8	13
<b>B19</b>	Älgöfjorden	27.0	77
<b>B20</b>	Sälö fjord/Källö fjord	74.5	81
<b>B21</b>	Nordre Älvs fjord	36.6	169
<b>B22</b>	Stora Kalvsund	7.4	7
<b>B23</b>	Björköfjorden	6.0	12
<b>B24</b>	Dana fjord	33.8	6
<b>B25</b>	Rivö fjord	22.6	50150
<b>B26</b>	Asperöfjorden sek namn	9.2	8
<b>B27</b>	Askims fjord	49.3	76



Figur 49. Area fördelningen i djupled för varje delbassäng beskrivs i s.k. hypsografer. Det är hypsograferna som anger varje delbassängs specifika geografiska egenskaper.



Figur 50. Schematisk bild över tvärsnittsytan för respektive sund framtaget från digitala sjökort (blå staplar), de röda symbolerna anger huruvida vi i modellen betraktar dem som triangulära eller rektangulära, magentafärgad kurva anger modellens tvärsnittsyta.

## Drivdata

### Atmosfär

Vindhastighet, lufttemperatur, relativ luftfuktighet samt total molnighet har hämtats från tidigare nämnda meteorologiska databas där gridrutan vars mittpunkt har positionen **Lat 57,5°N Lon 11,5°O** bäst ansågs representera södra delarna av Bohusläns skärgård.

Till vår hjälp att fastställa depositionen av kväve har vi använt oss av årsdepositioner beräknade av **MATCH**-modellen för åren 1991 samt 1994-2001. I syfte att fånga årstidsvariationer har vi sedan viktat dessa modellberäknade data med månadsnederbördsdata från den meteorologiska databasen, då den mesta atmosfärdepositionen av kväve bedöms ske genom s.k. våtdeposition. För de år som saknas i **MATCH** tidsserien har vi använt oss av en nederbördsviktad medeldeposition av reducerat och oxiderat kväve.

### Land

Vattenföringen beräknades som dygnsmedelvärden med hjälp av HBV-modellens tillämpning i TRK-projektet, med undantag för Göta älv. Tidsserier för tre olika områden beräknades med HBV-modellen: 1. Bäveån, 2. Kustavrinningsområden norr om Göta älvs mynning i havet, 3. Kustavrinningsområden söder om Göta älv. Tillrinningen till de definierade bassängerna fördelades proportionellt mot respektive tillrinningsområdes area.

Vattenföringen i Göta älv bestämdes med hjälp av uppgifter om dygnsvattenföring från Lilla Edets kraftverk och uppgifter om vattenföringen i Göteborgsgrenen i Kungälv. Vattenföringen i Lilla Edet representerar den totala vattenföringen i Göta älv och dygnsvattenföringen i Nordre älv beräknades som skillnaden mellan vattenföringsuppgifter från Lilla Edet och Kungälv. Tillrinningen nedströms förgreningen i Kungälv beräknades från HBV modellerade data och adderades till flödena för respektive gren i Kungälv.

Transporter av kväve- och fosfor beräknades för varje dygn för definierade tillflöden genom multiplikation av vattenföring och halt. För Göta älvs Göteborgsgren och Nordre älv användes halter från den nationella miljöövervakningens provtagningsstation ”Alelyckan” (Institutionen för miljöanalys, SLU, Uppsala, [www.ma.slu.se](http://www.ma.slu.se)). Från samma källa hämtades halter för transportberäkningar för Bäveån. Dessa mätserier bygger på provtagningar varje månad och både totalhalter och oorganiska halter finns analyserade. Halter för varje dygn erhöles genom linjär interpolering.

Halter för beräkning av tillförsel från områden där inga mätserier fanns sammanställda genererades med hjälp av expertbedömningar som baserades på information om markanvändning och genomsnittliga värden på totalfosforhalter och totalkvävehalter i bäckar och åar där länsstyrelsen eller Göta älvs vattenvårdsförbund genomför mätningar. För varje definierat område samt för 23 avrinningsområden där halter mäts i avrinningen beräknades andelen jordbruksmark, skogsareal, sankmark, öppen mark, tätort, annan bebyggd area och vattenyta. Sambandet mellan halt och andel jordbruksmark var tydligast. I avrinningen antogs andelen fosfat vara 30 % av totalfosfor. Andelen nitrat och ammonium antogs vara 50 % respektive 3 % av totalkväve. De halter som bestämdes för de olika tillrinningsområdena antogs vara konstanta.

Länsstyrelsen rapporterade uppgifter om utsläpp från 25 olika källor med utsläpp direkt eller nästan direkt till havet. Dessa punktkällor bidrar med kväve och fosfor till 16 av kustbassängerna. I samarbete med länsstyrelsen kompletterades de rapporterade utsläppsdata med antaganden om oorganiska andelar av utsläppen och dessutom med uppgifter för alla år från 1985-2002. Länsstyrelsens rapporterade data var huvudsakligen årliga utsläpp av totalkväve och totalfosfor för åren 1995-1999. De genererade årliga



utsläppen fördelades lika på årens dagar och adderades till övriga beräknade transporter från landområden till respektive bassäng.

De per bassäng summerade transporterna av totalkväve, nitrat, ammonium, totalfosfor och fosfat dividerades med summerad tillrinning till respektive bassäng för att erhålla de dygnsvisa halter som utgör indata i kustzonsmodellen.

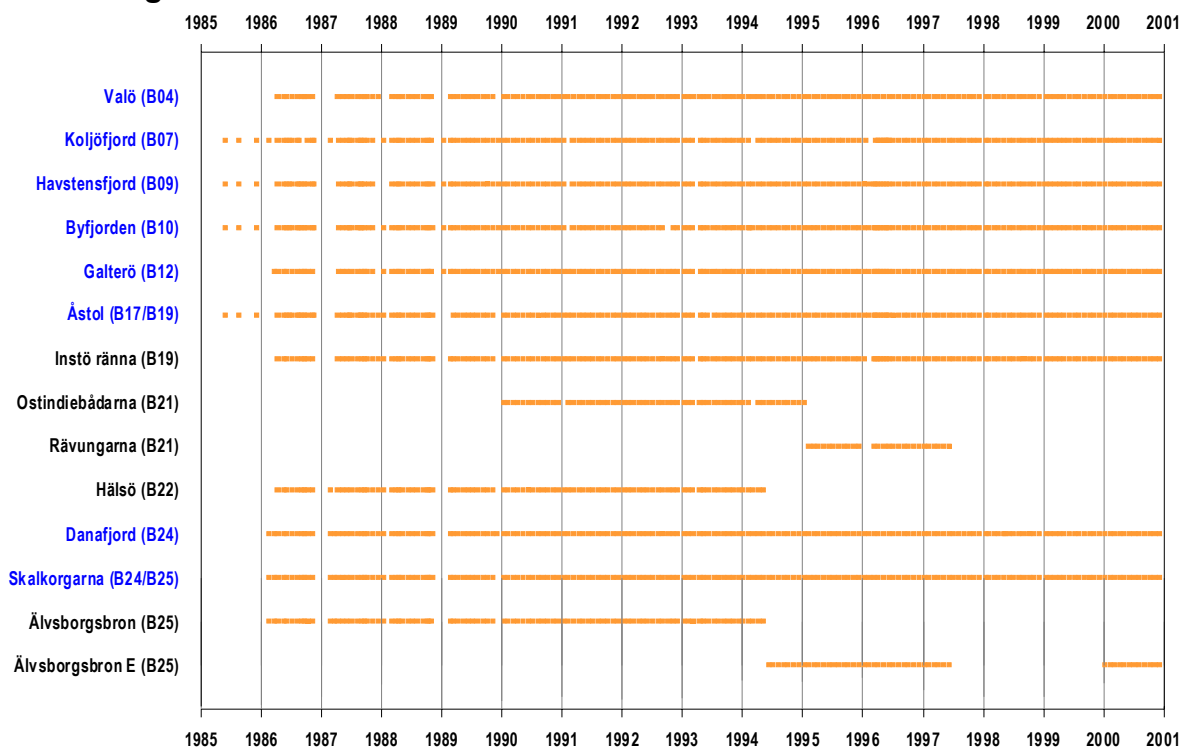
## Utsjö

Eftersom Bohusläns södra skärgård sträcker sig från Skagerack i norr till Kattegatt i söder bör utsjön behandlas som två separata bassängar, Skagerack och Kattegatt. Tanken med denna indelning är att Skagerack-bassängen skall utgöra samma drivning som i norra Bohuslän, medan Kattegatt drivs med stationerna **GF4** och **P2**.

Station **GF4** är den station som bäst representerar Kattegatt. Ett intensivt mätprogram genomfördes vid denna station fram t.o.m. 1993. Därefter besöks stationen endast sporadiskt och alla parametrar mäts inte vid varje tillfälle. För perioden 1985-1993 tas Kattegatt drivningen enbart från **GF4** därefter tas den från station **P2**, som är belägen något norr om **GF4**, och därför ett något tunnare ytskikt än **GF4**, men i övrigt skiljer de båda stationerna inte nämnvärt åt.

## Resultat

### Valideringsstationer

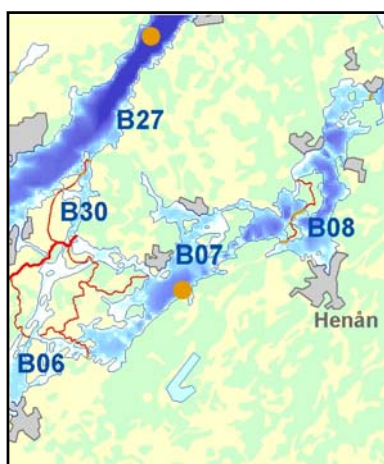


Figur 51. Mätserier vid de stationer som ingått och till viss del fortfarande ingår i Bohuskustens kontrollprogram. Notera att under perioden 1986-1989 genomfördes endast sporadiska mätningar under vinterperioden. Inom parentes anges i vilka modellbassänger som mätstationen ligger. Station Skalkorgarna är belägen precis vid gränsen mellan bassängerna B24 och B25, varför båda dessa bassängar finns angivna i figuren. Stationerna med blå text lämpar sig väl till valideringsstudier då deras läge bedöms som representativt för modellbassängerna. Övriga stationer återfinns i grundområden och utgör en dålig representation av modellbassängerna.

I syfte att avgöra modellens riktighet och hur väl den representerar verkligheten krävs en noggrann validering, dvs. jämförelse mellan modellresultat och observationer gjorda i området.

Längs Bohusläns södra skärgård utförs månatliga mätningar vid 10 stationer. Vid ytterligare tre stationer har det förekommit mätningar under en längre period under tiden 1985-2000. Station **Älvsborgsbron** inberäknas inte bland dessa, då den stationen flyttades till den station som betecknas **Älvsborgsbron E** under 1994. Somliga av stationerna ligger väl till i bassängen och lämpar sig väl för valideringsstudier, andra stationer ligger i inneslutna vikar och kan inte betraktas som representativa för hela havsområdet i vilket stationen är belägen. Detta gör att valideringen av modellen begränsas till de bassänger och stationer som är markerade med blå text i figur 51.

### Nordströmmarna/Koljöfjorden/Borgilefjorden (B07)

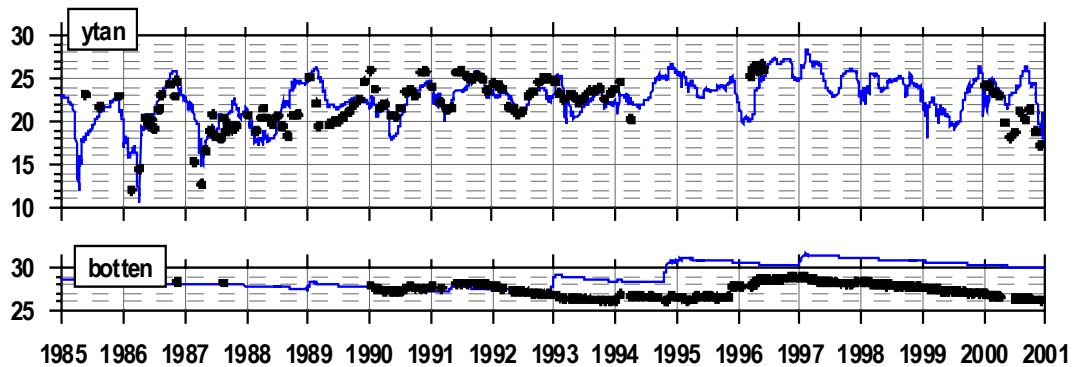


Figur 52. Hypsografisk karta över delbassäng **B07**, Nordströmmarna-Koljöfjorden-Borgilefjorden. Orange punkt markerar positionen för station **Koljöfjord**.

© Lantmäteriverket 2000. Ur GSD-Höjdkurvor ärende nr M00 5986.

Bassäng **B07** i modellen utgörs, som tidigare nämnts, av tre havsområden i **SVAR**. Anledningen till att Nordströmmarna, Koljöfjorden och Borgilefjorden slagits samman till en bassäng i modellen är att dessa tre områden inte avskiljs av något uttalat tröskelområde. Erfarenheten av Kustzonsmodellen visar att det oftast komplicerar modellens beskrivning av utbytet mellan havsområden då dessa inte utgörs av väl uttalade tröskelområden. Den sammanslagna bassängen **B07** har en mycket grund och smal förbindelse med Malö strömmar och i förlängningen utsjön. Även inåt fjordsystemet, i gränsen mot Kalvöfjord är tröskelområdet tydlig. Mätstationen **Koljöfjord** är belägen i den djupaste punkten i havsområdet, ganska nära Orusts norra kust.

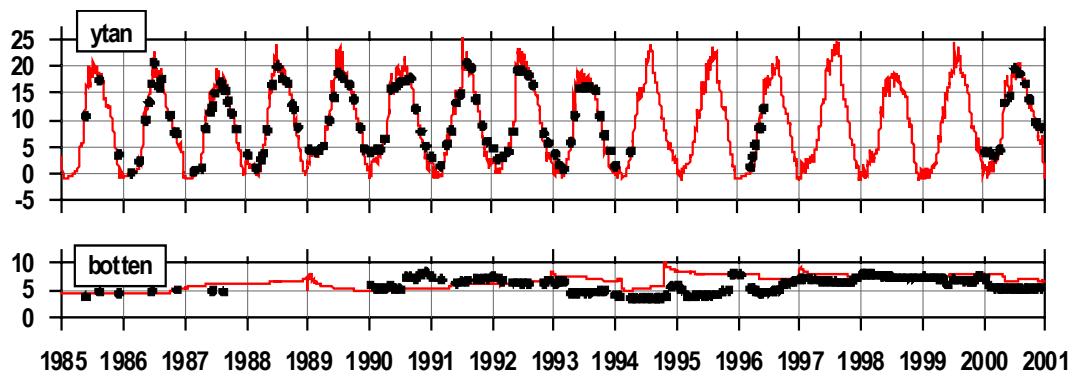
## Salthalt



Figur 53. Jämförelse mellan modellerad salthalt (PSU) från **B07** och mätdata från station **Koljöfjorden**. Blå linje visar modellresultat och svarta punkter observationer på 0 respektive 40 m djup.

Salthalten i ytan är i området mycket variabel, med mycket stora variationer från tid till annan, vilket hänger samman med stort färskvatten tillflöde från land uppströms i systemet. Bäveåns vatten, som mynnar i Byfjorden, transporteras vidare ut i systemet och färskvattensignaler därifrån kan spåras även i bassäng Koljöfjorden, även om detta vatten påverkas av havsvatten med högre salthalt på sin väg ut till Skagerack. I djupvattnet varierar salthalten betydligt mindre och man kan tydligt se från mätningar att djupvattnet i Koljöfjorden kännetecknas av långa stagnationsperioder som ibland sträcker sig över flera år. Pga. den trånga förbindelsen mot Malö strömmar så är salthalten i på 40 m djup betydligt lägre i Koljöfjorden än på motsvarande djup i andra havsområden i fjordsystemen kring Orust och Tjörn. Vid tre tillfällen med två års mellanrum (det första 1993) sker i modellen inflöden av tungt vatten med hög salthalt i djupvattnet. Mätdata antyder enbart ett inflöde av tungt vatten under denna period. Orsaken till att modellen skiljer sig från mätdata ligger i modellens drivning från utsjön. Med en bättre representation av förhållandena i utsjön, kommer modellen bättre kunna fånga inflödena av tungt vatten i tiden.

## Temperatur

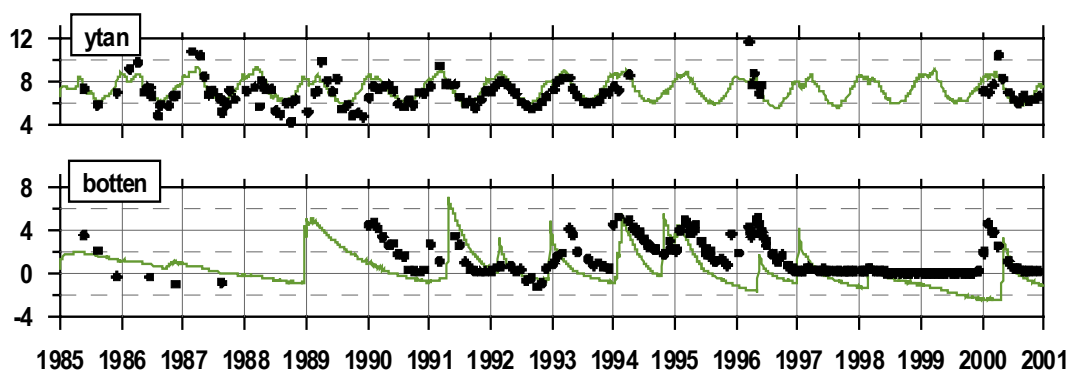


Figur 54. Jämförelse mellan modellerad temperatur (°C) från **B07** och mätdata från station **Koljöfjorden**. Röd linje visar modellresultat och svarta punkter observationer på 0 respektive 40 m djup.

Temperaturtidserien pekar på samma fenomen som tidserien för salthalt, att djupvattnet i havsområdet är stagnant i långa perioder. Modellens temperaturer är ofta

något höga vid inbrott av nytt vatten, vilket hänger samman med att inbrotten i modellen inte kommer exakt i rätt tidpunkt, och därför har också det vatten som kommer in i Koljöfjorden i modellen något högre temperatur.

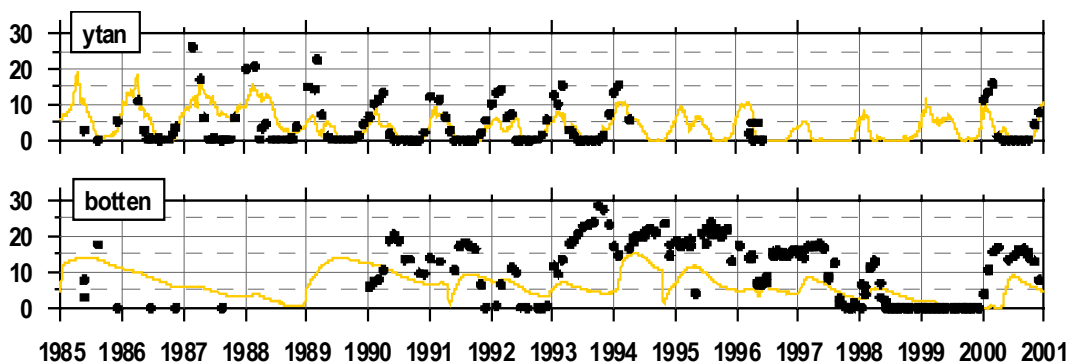
## Syrgas



Figur 55. Jämförelse mellan modellerad syrgashalt (ml/l) från **B07** och mätdata från station **Koljöfjorden**. Grön linje visar modellresultat och svarta punkter observationer på 0 respektive 40 m djup.

Tidsserien för syrgashalt visar att perioden inleds med en fyra år lång stagnationsperiod i djupvattnet när syrgashalten i Koljöfjorden i stort sett bara sjunker. 1989 inträffar ett inbrott av nytt djupvatten med hög syrgashalt i modellen. Tyvärr saknas observationer i djupvattnet vid denna tidpunkt. 1990 inträffar observationerna på ett nytt inbrott, vilket modellen missar. Därefter visar modellen och observationer på mycket god överensstämmelse. 1996 visar både modell och observationer på ett inflöde i djupvattnet, men modellen underskattar dess styrka. Från 1997-2000 visar mätdata att återigen en lång stagnationsperiod äger rum. Troligen uppträder under denna period svavelväte (vilket i figuren visas som negativa syrgashalter) i havsområdet, men att denna parameter inte har mätts. Istället för att ange negativa syrgashalter, har man noterat en nollkoncentration av syrgas.

## Nitrat

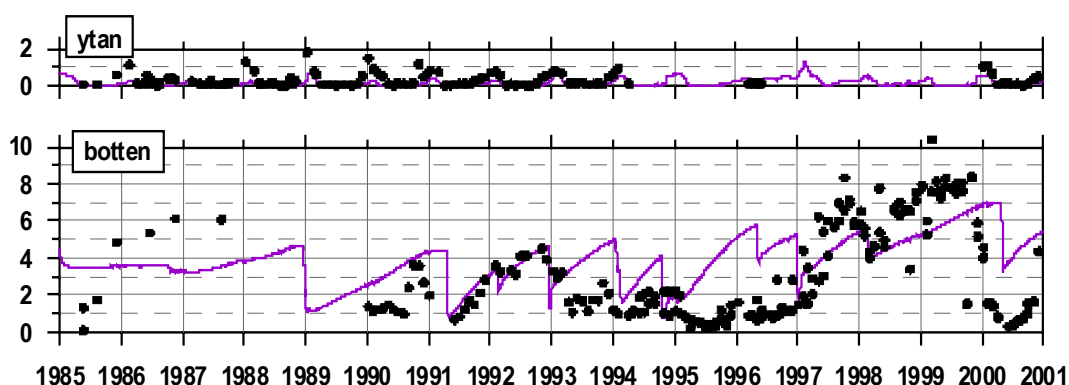


Figur 56. Jämförelse mellan modellerad nitrathalt ( $\mu\text{mol/l}$ ) från **B07** och mätdata från station **Koljöfjorden**. Gul linje visar modellresultat och svarta punkter observationer på 0 respektive 40 m djup.

Årscyklerna av nitrat i ytan har en god överensstämmelse mellan mätdata och modellens halter. Med några få undantag är vintervärdena i modellen dock generellt

något låg. Modellens värden i djupvattnet ligger dock väl till i förhållande till observationerna. De stora variationerna i nitrathalterna i djupvattnet är nära kopplad till inflödestillfällena.

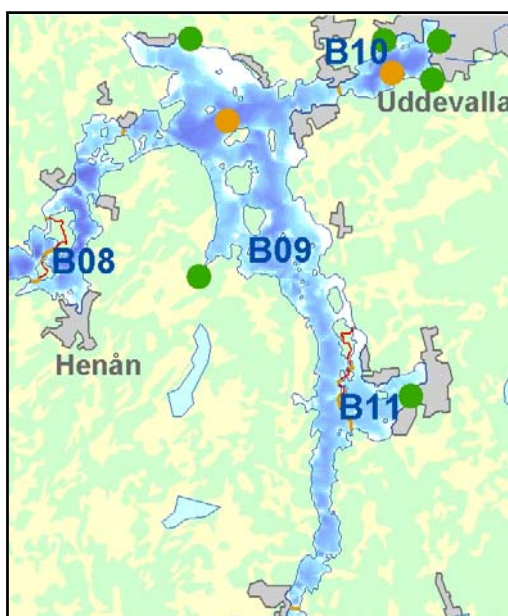
## Fosfat



Figur 57. Jämförelse mellan modellerad fosfathalt ( $\mu\text{mol/l}$ ) från **B07** och mätdata från station **Koljöfjorden**. Lila linje visar modellresultat och svarta punkter observationer på 0 respektive 40 m djup.

Även vad avser fosfathalt så är vintervärdena något låga i modellens ytvatten. Djupvattnet, däremot uppvisar på relativt höga fosfathalter, vilka är intimt kopplade till stagnationsperioder. Vid de tillfällen modellen klarar av att beskriva utbytet av djupvattnet visar modellen också på rätt halter i djupvattnet. Det inträngande, nya djupvattnet har ofta betydligt lägre fosfathalter än det stagnanta vattnet har. Vid ett inbrott sjunker alltså fosfathalten betydligt, för att åter stiga genom nedbrytningsprocesser och urlakning av fosfat från havsbotten då syrgashalten minskar.

## Havstensfjorden (B09)



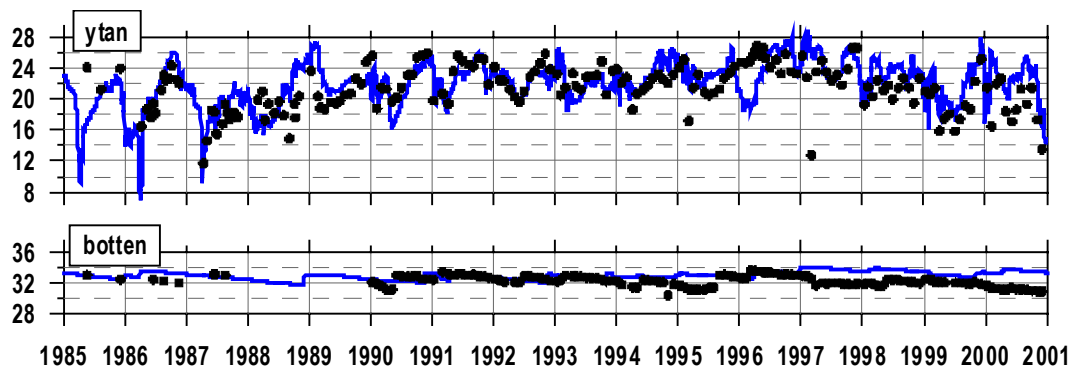
Figur 58. Hypsografisk karta över delbassäng **B09**, Havstensfjorden och delbassäng **B10**, Byfjorden. Orange punkt markerar positionerna för stationerna **Havstensfjorden** och **Byfjorden**.

© Lantmäteriverket 2000. Ur GSD-Höjdkurvor ärende nr M00 5986.

Havstensfjorden är en relativt smal och långsträckt fjord som sträcker sig utefter Orusts östra kust. Längst upp i norr vidgar sig fjorden något och ett djupare område med maximalt

djup på 44 m breder ut sig. Det är i detta område, i den norra delen av fjorden som mätstationen är belägen.

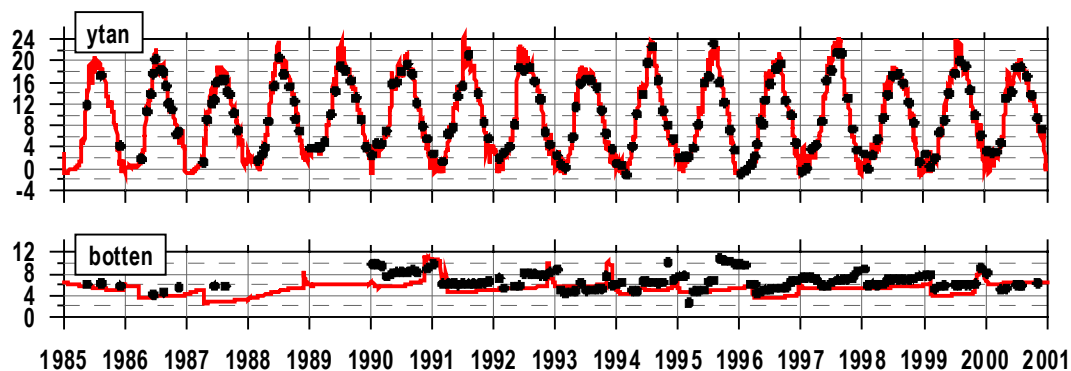
### Salthalt



Figur 59. Jämförelse mellan modellerad salthalt (PSU) från **B09** och mätdata från station **Havstensfjorden**. Blå linje visar modellresultat och svarta punkter observationer på 0 respektive 40 m djup.

Salthalten i ytan, vilken till stor del påverkas av färskvattentillrinningen är variabel både modellen och i mätdata. Även om avvikelser förekommer så bedöms modellen som väl överrensstämmande med mätdata. Djupvattnet visar att årslånga stagnationsperioder förekommer frekvent i området. Vissa perioder byts bottenvattnet inte ut på flera år. Modellen visar likartat beteende, även om utbytet av bottenvattnet inte sker vid exakt samma tidpunkt som mätdata påvisar.

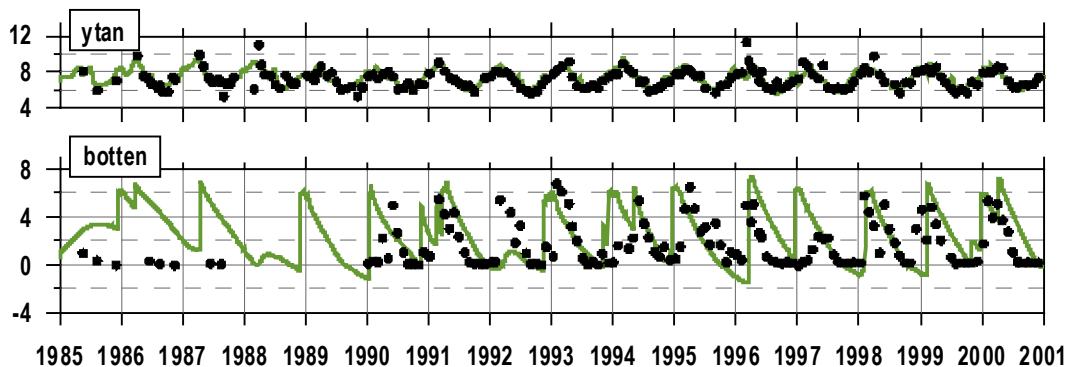
### Temperatur



Figur 60. Jämförelse mellan modellerad temperatur (°C) från **B09** och mätdata från station **Havstensfjorden**. Röd linje visar modellresultat och svarta punkter observationer på 0 respektive 40 m djup.

Modellens temperaturfält i ytan visar oftast på väl överrensstämmelse med mätdata. Havstensfjorden är inget undantag. De betydligt mindre variationerna i bottenvattnet understryker att bottenvattnet i Havstensfjorden är stagnant. Det är i stort sett vid inbrott av nytt djupvatten som någon mer uttalat förändring av temperaturen på 40 m djup äger rum

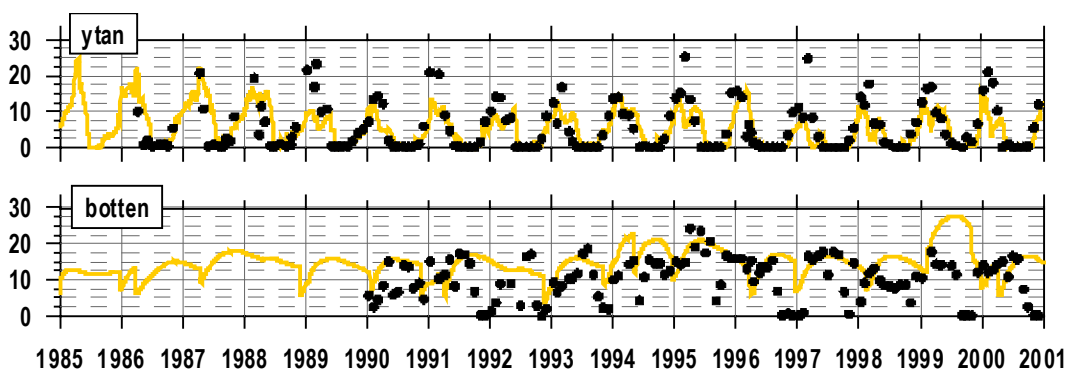
## Syrgas



Figur 61. Jämförelse mellan modellerad syrgashalt (ml/l) från **B09** och mätdata från station **Havstensfjorden**. Grön linje visar modellresultat och svarta punkter observationer på 0 respektive 40 m djup.

Genom att studera syrgashalten i djupvattnet blir det tydligt att mätdata visar på årlig förnyelse av djupvattnet och att stagnationsperioderna har en årlig cykel. När nytt djupvatten kommer in i området för det med sig vatten med en syrgashalt på c:a 6 ml/l. Under stagnationsperioderna konsumeras syrgasen genom nedbrytning av organsikt material. Även modellen visar på en årlig förnyelse av djupvattnet, vilken i stort sammanfaller med vad observationerna visar. Vissa år kommer dock inbrotten något tidigt jämfört med observationerna.

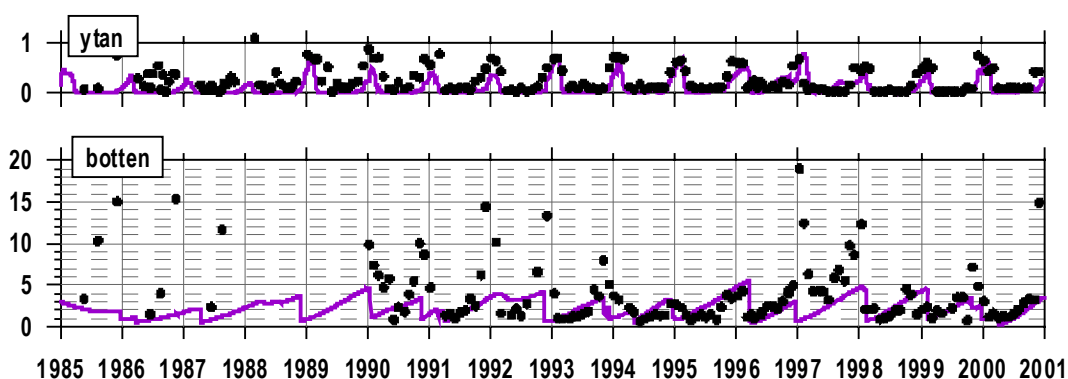
## Nitrat



Figur 62. Jämförelse mellan modellerad nitrathalt ( $\mu\text{mol/l}$ ) från **B09** och mätdata från station **Havstensfjorden**. Gul linje visar modellresultat och svarta punkter observationer på 0 respektive 40 m djup.

Modellens följer tidsserien av nitrathalten i Havstensfjorden jämfört med observationerna. Modellens vintervärden i ytan kan dock vara något låg från tid till annan. I djupvattnet visar både modell och observationer på en variabel tidsserie.

## Fosfat



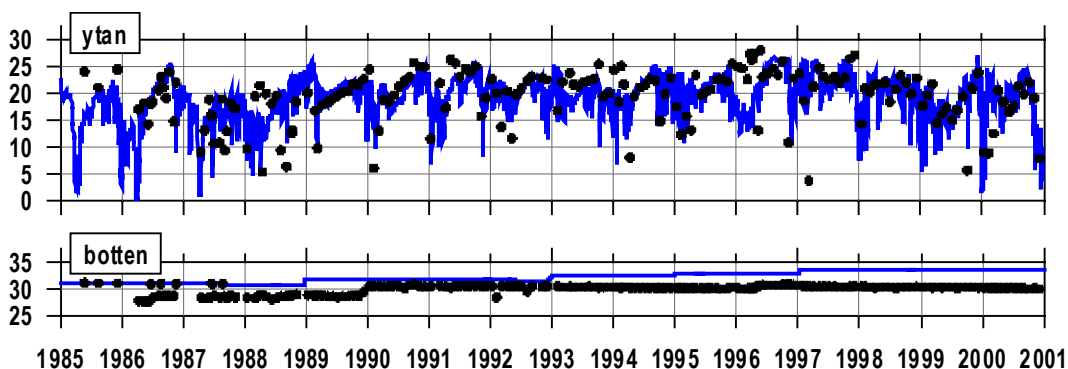
Figur 63. Jämförelse mellan modellerad fosfathalt ( $\mu\text{mol/l}$ ) från **B09** och mätdata från station **Havstensfjorden**. Lila linje visar modellresultat och svarta punkter observationer på 0 respektive 40 m djup.

Modellens fosfathalt i ytan följer en förväntad årdynamik. På större djup visar dock mätvärdena på att modellen allt som oftast underskattar de allra högsta fosfathalterna. Troligen kan detta förklaras med att modellen underskattar nedbrytningen av organsikt material vid syrgashalter nära 0 ml/l.

## Byfjorden (B10)

Byfjorden ligger allra längst in i fjordsystemet kring Orust och Tjörn, se figur 58. Havsområdet har en relativt grund och trång förbindelse med Havstensfjorden. I dess innersta del ligger Uddevalla, där Bäveån har sitt utlopp. I fjordens djupaste del, relativt centralt i havsområdet ligger en mätstation, **Byfjorden**.

## Salthalt



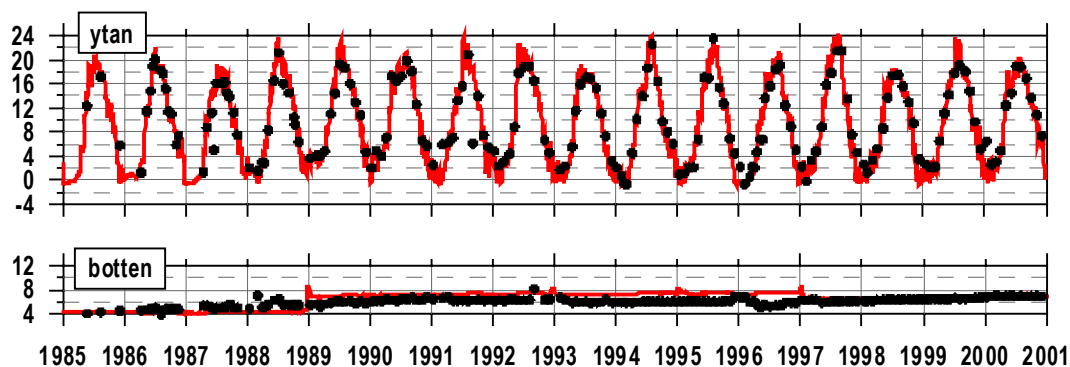
Figur 64. Jämförelse mellan modellerad salthalt (PSU) från **B10** och mätdata från station **Byfjorden**. Blå linje visar modellresultat på 0 respektive 40 m djup, svarta punkter observationer på 0 respektive 40-43 m djup.

Salthaltvariationerna i ytan visar tydligt på Bäveåns påverkan på salthalten i havsområdet. De stora variationerna i ytsalthalt är direkt kopplad till variationer av färskvattentillflödet från Bäveån. Både modell och observationer visar på likartade variationer även om de inte är identiska. Djupvattnet är å andra sidan mycket stagnant. Mätserien visar på salthalter på över 30 PSU i stort sett hela perioden. Från 1986 tom 1989



har något lägre salthalter noterats, men det är troligen mätta vid någon annan station i havsområdet

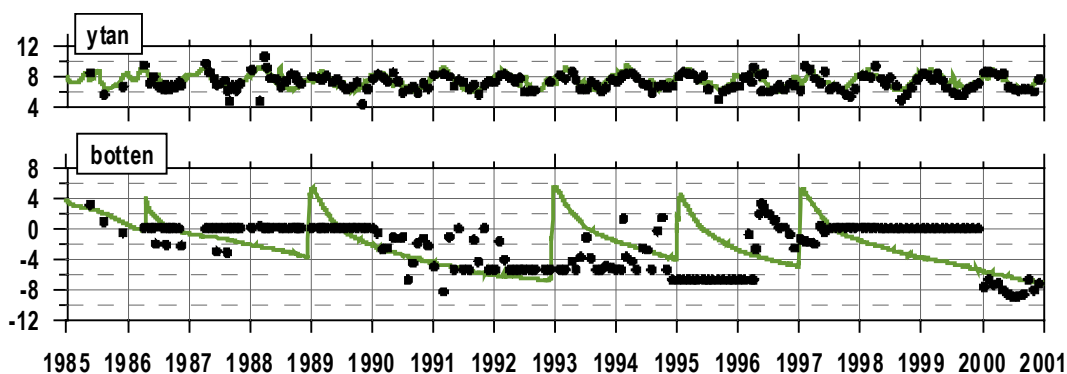
## Temperatur



Figur 65. Jämförelse mellan modellerad temperatur (°C) från **B10** och mätdata från station **Byfjorden**. Röd linje visar modellresultat på 0 respektive 40 m djup, svarta punkter observationer på 0 respektive 40-43 m djup.

Temperaturfältet visar också på hur stillastående vattnet på 40 m djup är i Byfjorden. Det förekommer troligen endast liten omblandning i djupvattnet under stagnationsperioderna. Förändringar av temperaturen sker så gott som enbart genom inflöden av nytt vatten från Havstensfjorden.

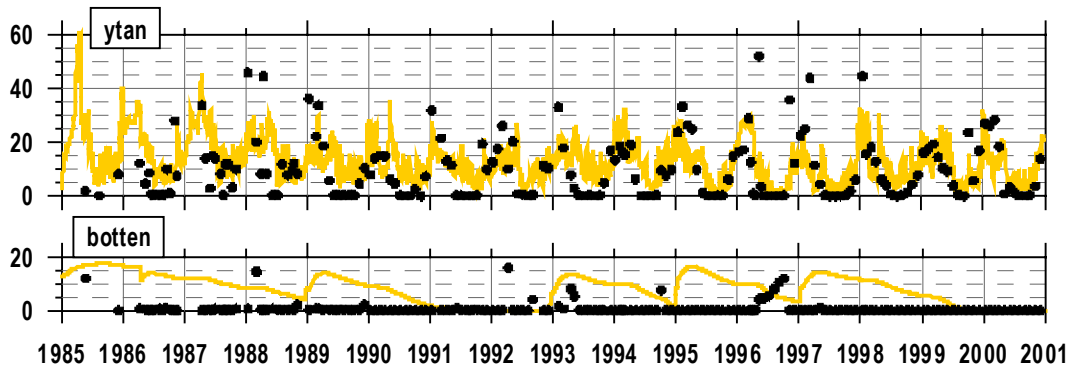
## Syrgas



Figur 66. Jämförelse mellan modellerad syrgashalt (ml/l) från **B10** och mätdata från station **Byfjorden**. Grön linje visar modellresultat på 0 respektive 40 m djup, svarta punkter observationer på 0 respektive 40-43 m djup.

Byfjorden är välkänt för långa perioder med mycket låga syrgashalter och mycket höga svavelvätekoncentrationer. Många studier har gjorts i området som publicerats i vetenskapliga artiklar. Kustzonsmodellen visar också på långa perioder då djupvattnet inte byts ut och syrgashalten sjunker till mycket låga nivåer. I första ögonkastet kan det tyckas att modellen och observationer uppvisar väldigt skilda tidsserier. Men de många konstanta värden som noterats i observationerna kan förklaras genom att man endast vid några tillfällen från 1986 tom 1989 noterat negativa syrgashalter och istället angett 0 ml/l då svavelväte uppträtt. Likaså har man gjort 1997-1999. Under perioden 1991-1994 har en lägsta detektionsgräns ansatts till  $-5.38$  ml/l för att 1995-1996 ersätta den lägsta detektionsgränsen med  $-6.72$  ml/l.

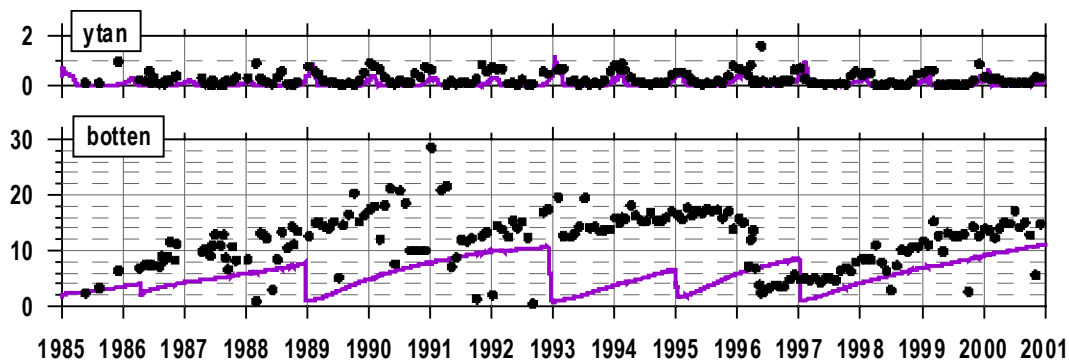
## Nitrat



Figur 67. Jämförelse mellan modellerad nitrathalt ( $\mu\text{mol/l}$ ) från **B10** och mätdata från station **Byfjorden**. Gul linje visar modellresultat på 0 respektive 40 m djup, svarta punkter observationer på 0 respektive 40-43 m djup.

Årsdynamiken i modellens Byfjorden skiljer sig från övriga delbassänger, då primärproducenterna i modellen inte lyckas konsumera hela vinterpoolen av nitrat under produktionssäsongen, vilket mätdata antyder borde ske årligen, även om nytt nitrat förs till Byfjorden från Bäveån väldigt fort under vissa år. Mätdata antyder också att konsumtionen av nitrat i modellens djupvattnet under syrgasfria förhållanden går alltför långsamt.

## Fosfat



Figur 68. Jämförelse mellan modellerad fosfathalt ( $\mu\text{mol/l}$ ) från **B10** och mätdata från station **Byfjorden**. Blå linje visar modellresultat på 0 respektive 40 m djup, svarta punkter observationer på 0 respektive 40-43 m djup.

Fosfathalten i ytan uppvisar en tydlig årsdynamik, vilken stämmer väl mellan observationer och modellresultat. Djupvattendynamiken pekar på hur fosfathalten successivt ökar under stagnationsperioder för att åter minska när nytt vatten kommer in. Under stagnationsperioder är det tydligt att modellen beskriver fosfatdynamiken väldigt väl, men att modellen har svårt att pricka in inflödena vid exakt rätt tidpunkt. Men både observationer och modell visar på att stagnationsperioderna ofta sträcker sig över flera år.

## Halsefjorden (B12)

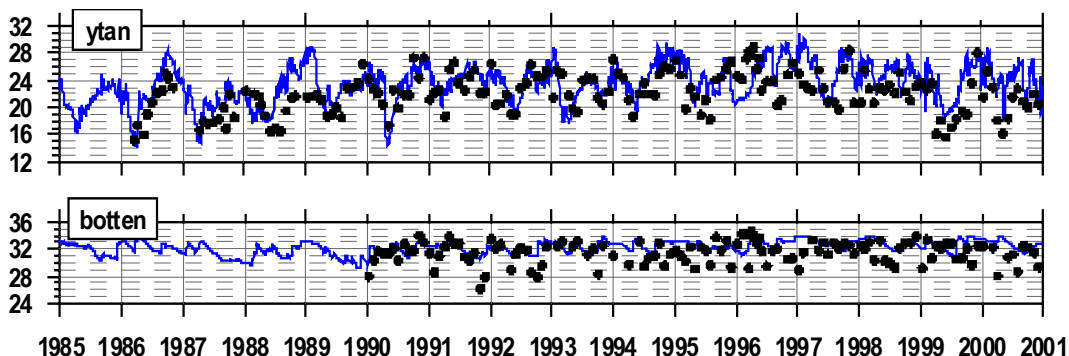


Figur 69. Hypsografisk karta över delbassäng **B12**, Halsefjorden. Orange punkt markerar positionen för station **Galterö**.

© Lantmäteriverket 2000. Ur GSD-Höjdkurvor ärende nr M00 5986.

Halsefjorden är ett relativt grunt havsområde med ett medeldjup på 8 m (enl. **SVAR**). Genom fjorden går en farled med ett maximalt djup på 41m. Mätstationen **Galterö** ligger mitt i farleden på gränsen till den söderomliggande Askeröfjorden.

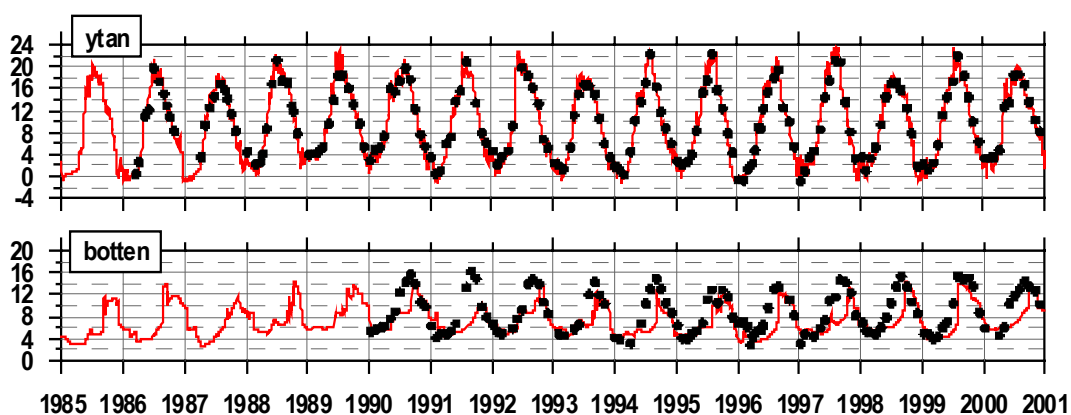
### Salthalt



Figur 70. Jämförelse mellan modellerad salthalt (PSU) från **B12** och mätdata från station **Galterö**. Blå linje visar modellresultat på 0 respektive 40 m djup, svarta punkter observationer på 0 respektive 35-40 m djup.

Tidsserien av mätdata visar på stor variabilitet i salthalt både i ytan och i djupvattnet. Det tyder på att det i den rännan som farleden utgör sker en intensiv blandning även på stora djup. Modellen återskapar denna variabilitet på ett godtagbart sätt, om än den missar de allra lägsta salthalterna på stora djup med flera PSU.

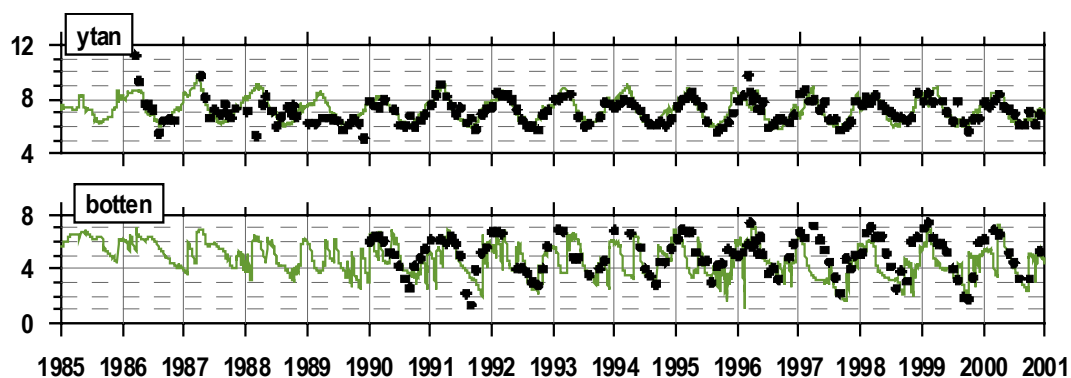
## Temperatur



Figur 71. Jämförelse mellan modellerad temperatur (°C) från **B12** och mätdata från station **Galterö**. Röd linje visar modellresultat på 0 respektive 40 m djup, svarta punkter observationer på 0 respektive 35-40 m djup.

På samma sätt som tidsserien av mätdata visar på stor variabilitet i salthalt både i ytan och i djupvattnet gör den det även för temperatur. Det understryker teorin om intensiv blandning på stora djup i farleden. Modellen återskapar denna variabilitet i temperatur mycket bra.

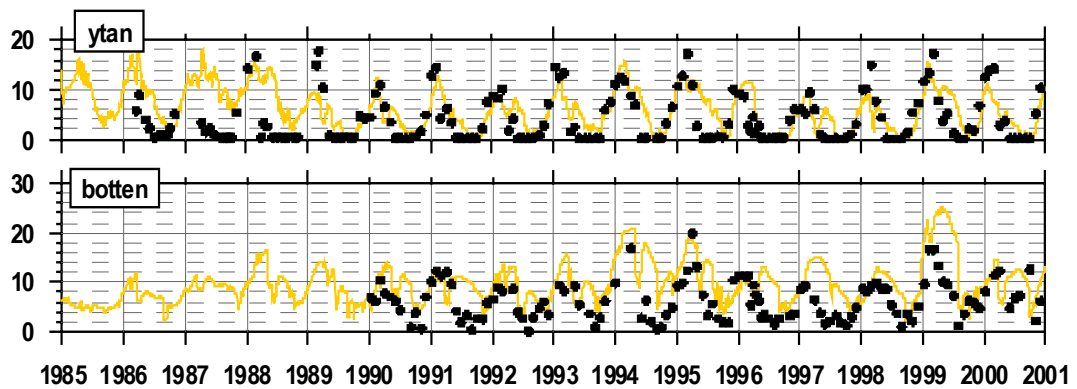
## Syrgas



Figur 72. Jämförelse mellan modellerad syrgashalt (ml/l) från **B12** och mätdata från station **Galterö**. Grön linje visar modellresultat på 0 respektive 40 m djup, svarta punkter observationer på 0 respektive 35-40 m djup.

Den intensiva djupvattenblandningen innebär att syrgashalten varierar mycket på 40 m djup. Årsdynamiken av syrgashalten återfinns såväl i modellresultaten som i observationerna.

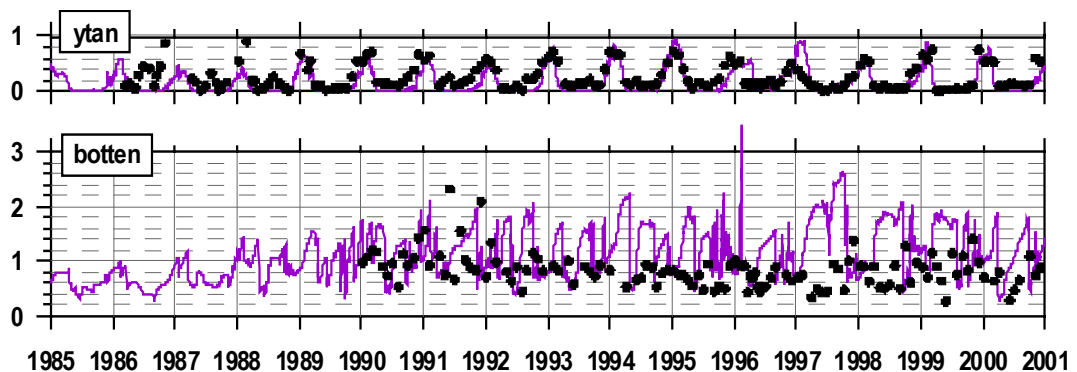
## Nitrat



Figur 73. Jämförelse mellan modellerad nitrathalt ( $\mu\text{mol/l}$ ) från **B12** och mätdata från station **Galterö**. Gul linje visar modellresultat på 0 respektive 40 m djup, svarta punkter observationer på 0 respektive 35-40 m djup.

Årstidsdynamiken av nitrat visar en god överensstämmelse mellan modellerad och observerad nitrathalt. Möjligen antyder observationerna i ytan att produktionssäsongen kommer igång något sent i modellen de första åren (tom 1989). Något man inte kan se senare under perioden. Modellen fångar även dynamiken i djupvattnet mycket bra.

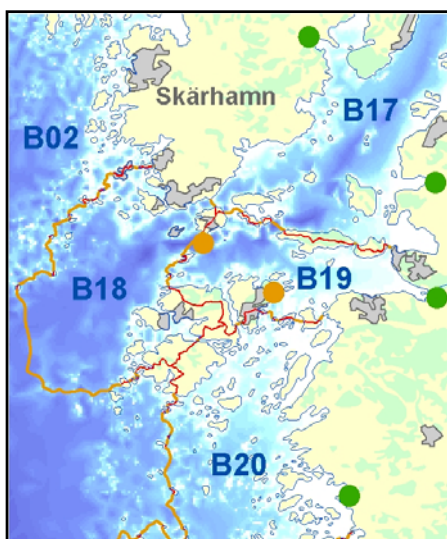
## Fosfat



Figur 74. Jämförelse mellan modellerad fosfathalt ( $\mu\text{mol/l}$ ) från **B12** och mätdata från station **Galterö**. Lila linje visar modellresultat på 0 respektive 40 m djup, svarta punkter observationer på 0 respektive 35-40 m djup.

Modellens årstidsdynamik av fosfat i ytan stämmer väl överens med observationerna i station **Galterö**. Däremot uppvisar modellen väldigt fluktuerande och alltför höga koncentrationer i djupvattnet.

## Marstrandsfjorden (B18)

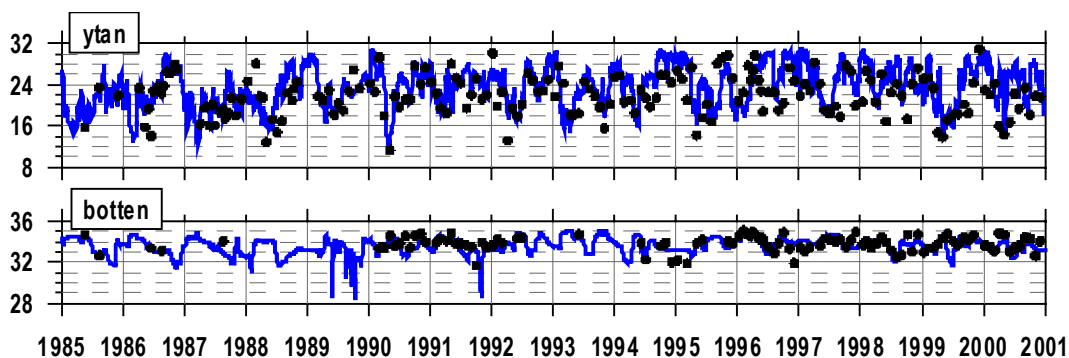


Figur 75. Hypsografisk karta över delbassäng **B18**, Marstrandsfjorden. Orange punkt på gränsen till bassäng **B19** markerar position för station **Astol**.

© Lantmäteriverket 2000. Ur GSD-Höjdkurvor ärende nr M00 5986.

Marstrandsfjorden är en av de djupare havsområden i den södra delen av Bohusläns skärgård med ett maxdjup på 64 m. Havsområdet har en relativt öppen förbindelse med utanförliggande havsområden och påverkas därför mycket av förhållandena i utsjön. Mätstationen **Astol**, som valts att validera resultaten i bassäng **B18** med är belägen i Älgöfjorden (**B19**), men ligger så nära gränsen mellan dessa båda områden att den bedöms representera även **B18** väl.

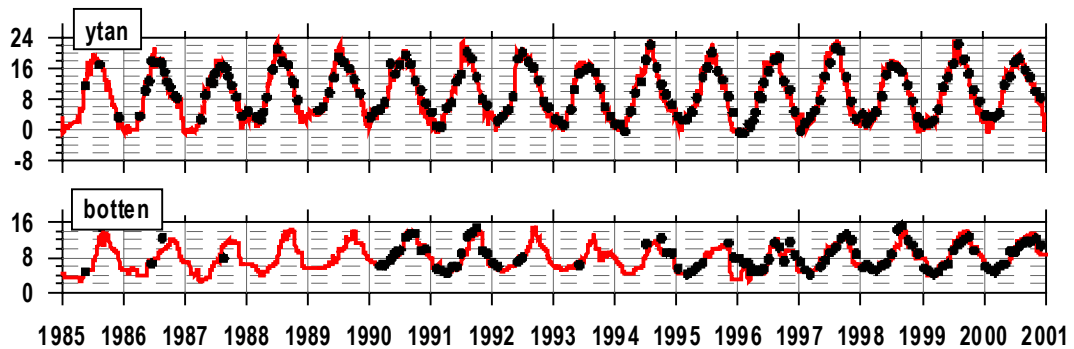
### Salthalt



Figur 76. Jämförelse mellan modellerad salthalt (PSU) från **B18** och mätdata från station **Astol**. Blå linje visar modellresultat och svarta punkter observationer på 0 respektive 60 m djup.

Eftersom Marstrandsfjorden ligger så pass långt ut i systemet och till stora delar är belägen utomskärs påverkas salthalten i området mycket av Baltiska strömmens läge. Salthalten är alltså mycket beroende av att modellen får in rätt salthalt från utsjön. Först då modellen klarar av att beskriva dessa tidsserier på ett tillfredställande sätt kan man förvänta sig att dynamiken i de inre bassängerna är möjliga att beskriva. Modellens stora fluktuationer i ytan stämmer väl överens med mätdata, även djupvatten dynamiken uppvisar en god överensstämmelse mellan modell och mätdata.

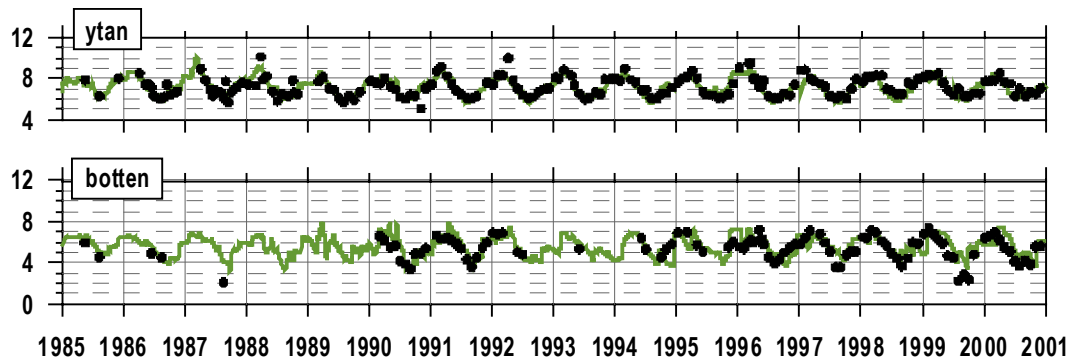
## Temperatur



Figur 77. Jämförelse mellan modellerad temperatur (°C) från **B18** och mätdata från station **Åstol**. Röd linje visar modellresultat och svarta punkter observationer på 0 respektive 60 m djup.

Även temperaturtidsserierna visar på tydlig årtidsvariation i de djupaste delarna av havsområdet, vilket tyder på att djupvattnet byts ut kontinuerligt. Man kan anta att modell och observationer uppvisat likartade värden, även om observationerna på 60 m djup är något sporadiska under perioden.

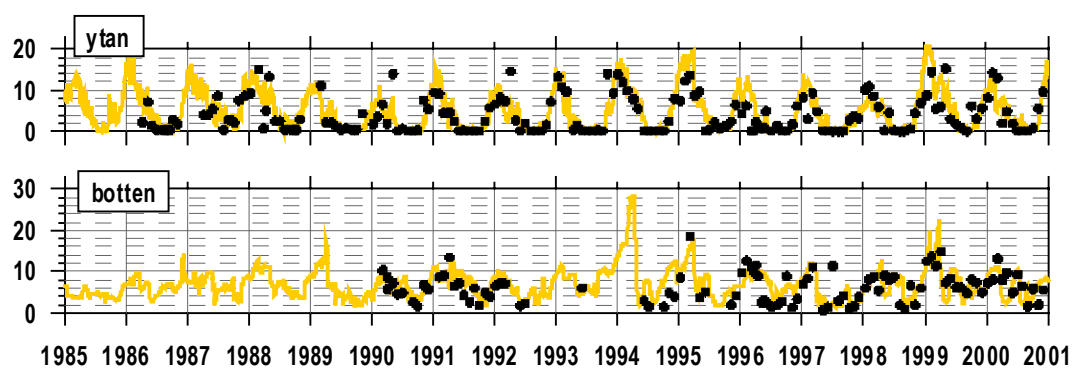
## Syrgas



Figur 78. Jämförelse mellan modellerad syrgas (ml/l) från **B18** och mätdata från station **Åstol**. Grön linje visar modellresultat och svarta punkter observationer på 0 respektive 60 m djup.

Precis som förväntat har tidsserierna av syrgashalt en årlig dynamik både på djupet och i ytan, där modellens värden stämmer väl med observationer.

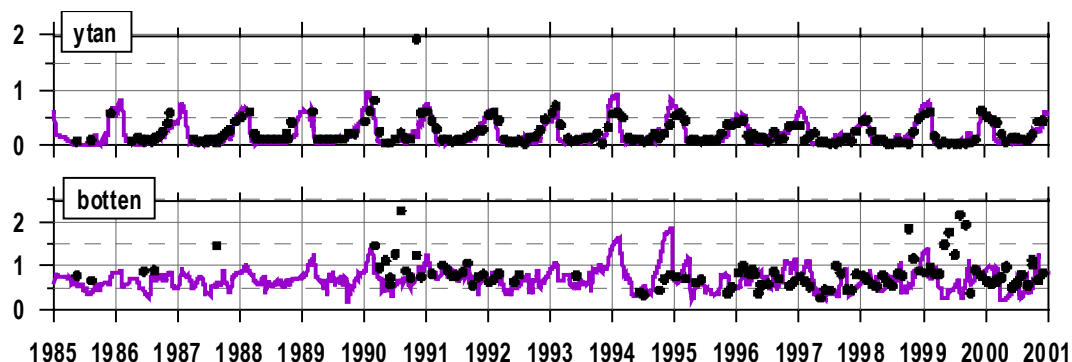
## Nitrat



Figur 79. Jämförelse mellan modellerad nitrathalt ( $\mu\text{mol/l}$ ) från **B18** och mätdata från station **Åstol**. Gul linje visar modellresultat och svarta punkter observationer på 0 respektive 60 m djup.

Nitrathalterna varierar med den sedvanliga årsdynamiken i ytan, där nitratpoolen helt töms under produktionssäsongen och höga halter återigen byggs upp under vintersäsongen. Även botten värdena uppvisar en säsongsdynamik, där modell och mätdata stämmer väl överens.

## Fosfat

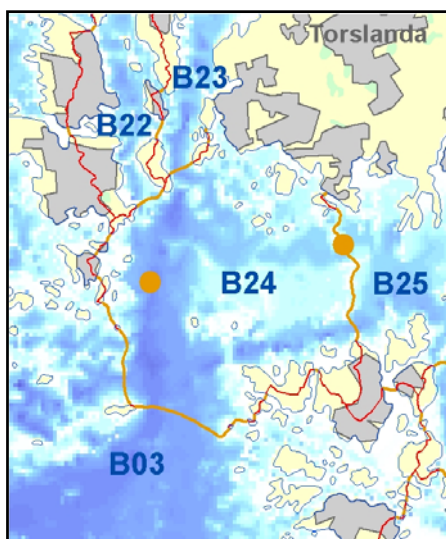


Figur 80. Jämförelse mellan modellerad fosfathalt ( $\mu\text{mol/l}$ ) från **B18** och mätdata från station **Åstol**. Lila linje visar modellresultat och svarta punkter observationer på 0 respektive 60 m djup.

Fosfathalten i ytan är väl beskriven i modellen. I djupvattnet fluktuerar koncentrationerna av fosfat väldigt, både i mätdata och i modellen. Vid några tillfällen missar modellen de höga värden som uppmätts, troligen hänger detta samman med att modellens syrgashalter vid dessa tillfällen är något för hög.



## Danafjord (B24)

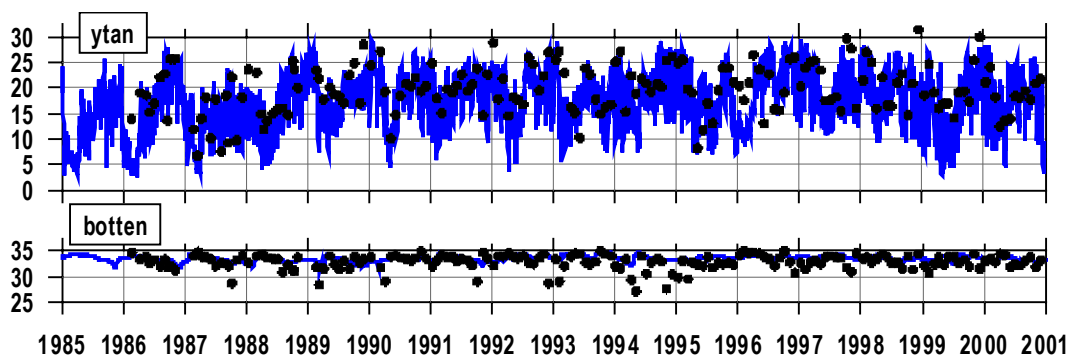


Figur 81. Hypsografisk karta över delbassäng B24, Danafjord. Den västra orange punkten markerar station Danafjords position.

© Lantmäteriverket 2000. Ur GSD-Höjdkurvor ärende nr M00 5986.

Danafjord är belägen mellan Rivöfjord, i vilken Göta Älv mynnar, samt det yttre havsområdet kallat Göteborgs skärgårds kustvatten. I havsområdet finns två mätstationer inom Bohuskustens kontrollprogram, **Danafjord** och **Skalkorgarna**, varav station **Danafjord** är belägen i de djupaste delarna av bassängen. Valideringen av modellen har därför koncentrerats till en jämförelse med den stationen.

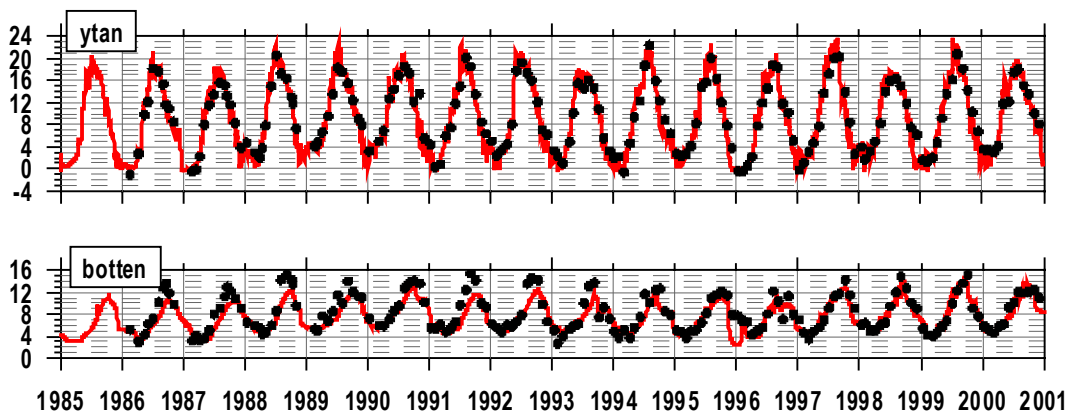
## Salthalt



Figur 82. Jämförelse mellan modellerad salthalt (PSU) från B24 och mätdata från station **Danafjord**. Blå linje visar modellresultat och svarta punkter observationer på 0 respektive 37 m djup.

Modellen salthalt varierar väldigt mycket i ytan, precis som man kan förvänta sig eftersom Göta Älvsvattnet påverkar salthaltfältet mycket. De månatliga mätningarna i station **Danafjord** kan av naturliga skäl inte fånga dessa intensiva fluktuationer, men de kan ändå påvisa att modellens värden är rimliga. Betydligt lugnare ter sig salthaltfältet på 37 m djup, vilket visar att redan på 37 m återfinns man djupvattnet i havsområdet. Vid några tillfällen visar observationerna på 37 m salthalter under 30 PSU. Dessa låga salthalter missar modellen oftast.

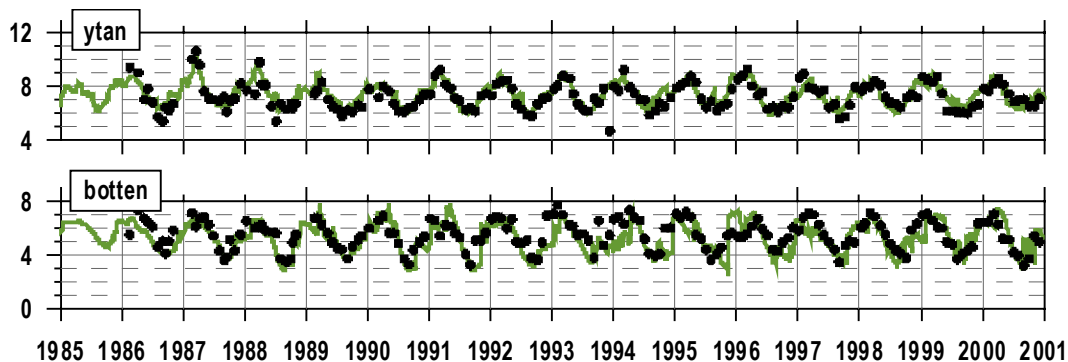
## Temperatur



Figur 83. Jämförelse mellan modellerad temperatur (°C) från **B24** och mätdata från station **Danafjord**. Röd linje visar modellresultat och svarta punkter observationer på 0 respektive 37 m djup.

Modell och observationer uppvisar en tydlig årscykel i djupvattnet och i ytan, modellen underskattar dock sommartemperaturerna under början av perioden fram tom 1994.

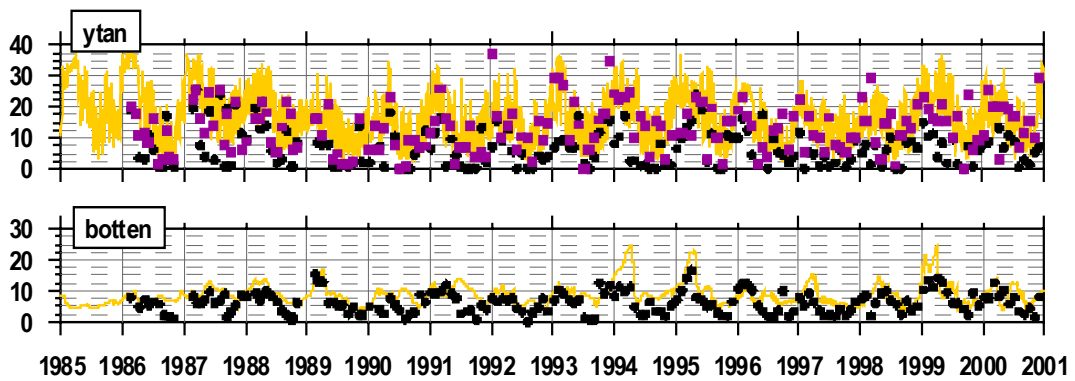
## Syrgas



Figur 84. Jämförelse mellan modellerad syrgashalt (ml/l) från **B24** och mätdata från station **Danafjord**. Grön linje visar modellresultat och svarta punkter observationer på 0 respektive 37 m djup.

Även syrgashalterna stämmer väl överens mellan observationer och modell, med en tydlig årscykel både i ytan och på 37 m.

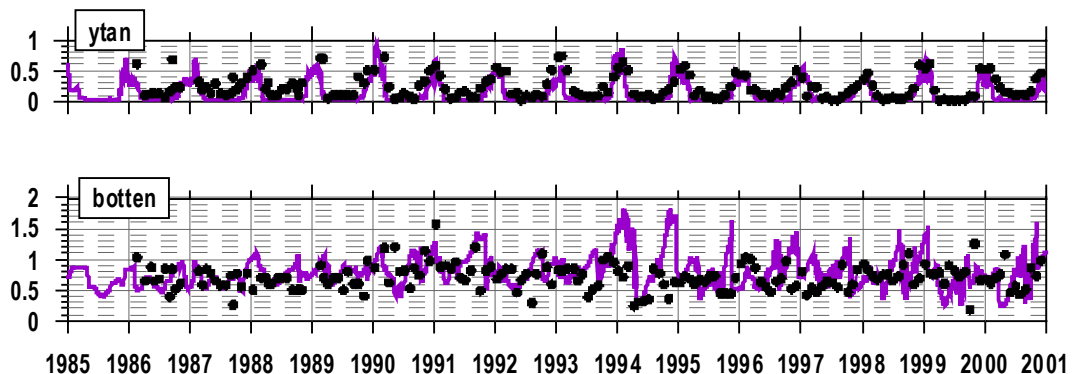
## Nitrat



Figur 85. Jämförelse mellan modellerad nitrat halt ( $\mu\text{mol/l}$ ) från **B24** och mätdata från station **Danafjord** och **Skalkorgarna**. Gul linje visar modellresultat, svarta punkter observationer på 0 respektive 37 m djup vid station Danafjord och lila punkter visar ytobservationer från station Skalkorgarna..

Modellens nitrat halter i ytan varierar mycket pga. Göta Älvs påverkan på vattenmassan. Observationerna antyder att modellens koncentrationer har en bättre överensstämmelse med observationerna i **Skalkorgarna**, vilket i sin tur antyder att station **Danafjord** påverkas mer av vattnet utomskärs än av Göta Älv vattnet. Under produktionssäsongen har modellen inte förmåga att tömma förrådet av nitrat, i likhet med observationerna från **Skalkorgarna**. På 37 m djup stämmer modellen bättre överens med observationerna i station **Danafjord** även om några enskilda toppar förekommer hos modellen, främst under 1994 och 1999, vars halter inte återfinns i observationerna.

## Fosfat



Figur 86. Jämförelse mellan modellerad fosfathalt ( $\mu\text{mol/l}$ ) från **B24** och mätdata från station **Danafjord**. Lila linje visar modellresultat och svarta punkter observationer på 0 respektive 37 m djup.

Fosfathalten i ytan uppvisar inte några extremt höga värden, utan varierar ungefär som i övriga havsområden. På 37 m fluktuerar halterna mycket både i modellen och i observationerna. Modellens halter överensstämmer väl med observationerna, med undantag av några enstaka toppar främst under 1994-1995.

## Onsala Kustvatten (B04)

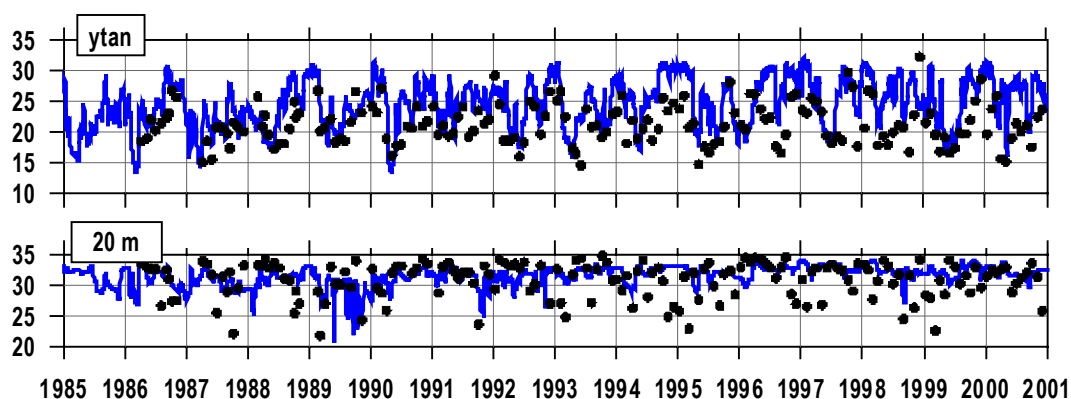


Figur 87. Hypsografisk karta över delbassäng **B04**, Onsala Kustvatten. Orange punkt markerar positionen för station **Valö**.

© Lantmäteriverket 2000. Ur GSD-Höjdkurvor ärende nr M00 5986

Delbassäng Onsala Kustvatten är den sydligaste belägna delbassängen i modellområdet. Större delar av detta havsområde tillhör rent geografiskt Hallands län. Vår ambition vid implementerandet av kustzonssystemet i nya områden är att hålla modellområdet innanför länsgränserna i avsikt att förenkla indatahanteringen till modellen, men eftersom den sydligaste inre Bohusländska delbassängen, Askims fjord, har ett så pass långt gränssnitt mot Onsala kustvatten, underlättas modellapplikationen om även detta område tas med i modellen. Onsala kustvatten har dock inkorporerats i en förenklad beskrivning, genom att alla de mindre havsområden längs Onsalahalvöns västra strand har här slagits samman till att bilda delbassäng **B04** i modellen. Inom området finns en mätstation, **Valö**, som sedan 1986 ingår i Bohuskustens kontrollprogram. Denna station är belägen i ett grundområde nära ön Valö, vilket gör att stationen inte har ett sådant läge att mätningar därifrån visar på djupvattenegenskaper i havsområdet, däremot bedöms stationen ligga så pass öppet att den väl representerar de översta 20 m i delbassängen.

### Salthalt

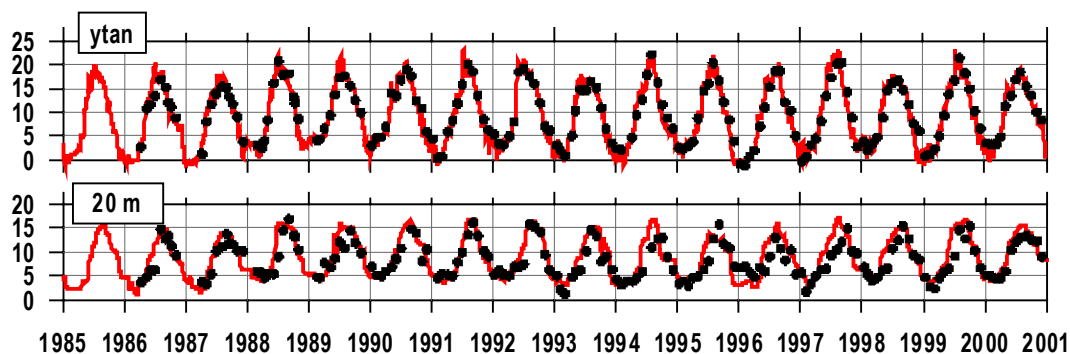


Figur 88. Jämförelse mellan modellerad salthalt (PSU) från **B04** och mätdata från station **Valö**. Blå linje visar modellresultat, svarta punkter observationer på 0 respektive 20 m djup.

Tidsserien av den uppmätta salthalten från station **Valö** visar på ett fluktuerande mönster över tiden både i ytan och på 20 m djup. Tidsserien visar också att vattenmassan är starkt skiktad, med ett tunt ytlager och där mätningarna på 20 m djup görs i det som kan betraktas som det allra översta skiktet i djupvattnet. Jämför man dessa tidsserier med vad modellen

återskapar, finner man att modellen visserligen har en något högre salthalt generellt i ytan, men att vattenmassan i modellen också är väl skiktad de översta 20 m. Likaledes fluktuerar salthalten över tiden i modellen, vilket är starkt kopplat till drivningen från utsjön. Mätstationerna **GF4** och **P2** som använts till att representera Kattegatt i modellen och som driver Kustzonsmodellen från utsjön har under den period de ingått i det nationella kontrollprogrammet besökts relativt frekvent. På så sätt har vi erhållit en god representation för tillståndet i utsjön.

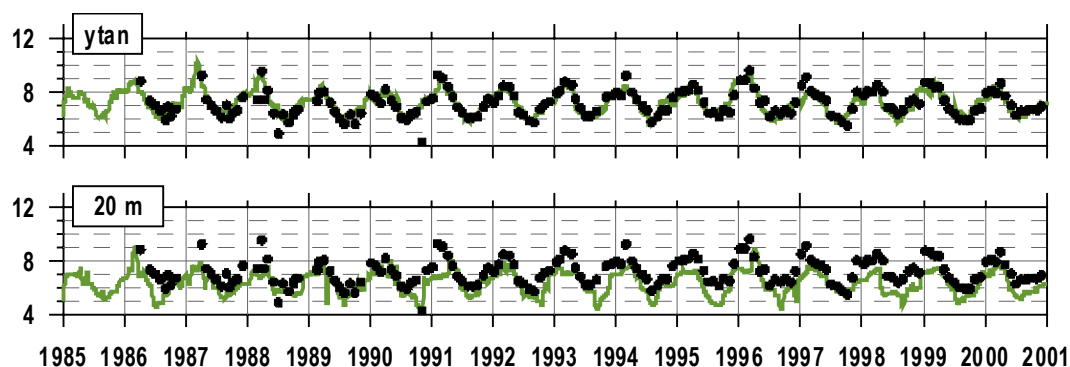
## Temperatur



Figur 89. Jämförelse mellan modellerad temperatur (°C) från **B04** och mätdata från station Valö. Röd linje visar modellresultat, svarta punkter observationer på 0 respektive 20 m djup.

Temperaturtidsserien visar på väldigt god överensstämmelse mellan modellerad temperatur och uppmätt. På djup ner till 20 m bestäms temperaturen främst av processer som sker genom havsytan, såsom solinstrålningen, och den är inte lika beroende av transporter mellan bassänger. Den goda överensstämmelsen med en typisk årscykel visar på att modellen beskriver instrålningsrutinerna korrekt.

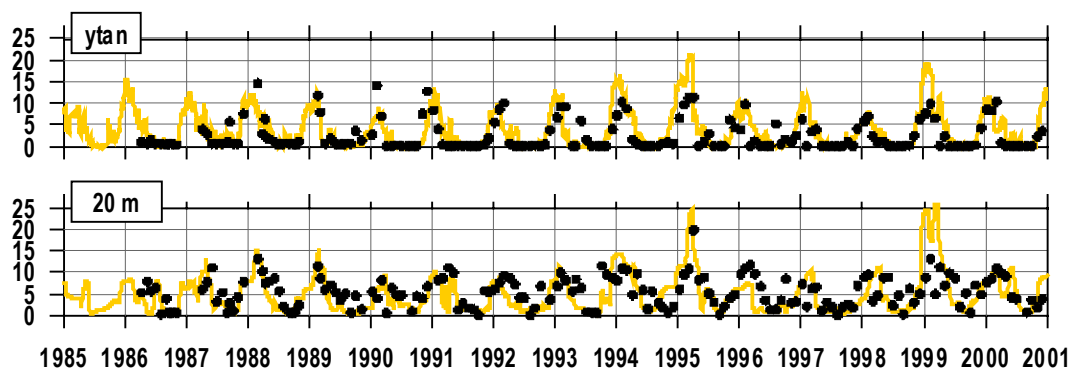
## Syrgas



Figur 90. Jämförelse mellan modellerad syrgashalt (ml/l) från **B04** och mätdata från station Valö. Grön linje visar modellresultat, svarta punkter observationer på 0 respektive 20 m djup.

Syrgashalten i ytan bestäms av utbytesprocesser genom ytan, vars styrka bestäms av temperaturen i vattnet. Med ett väl modellerat temperaturfält är det föga förvånande att även modellens syrgashalter stämmer väl överens i ytan. Längre ner i vattenmassan (på 20 m) visar modellen generellt något lägre syrgashalter än mätningarna

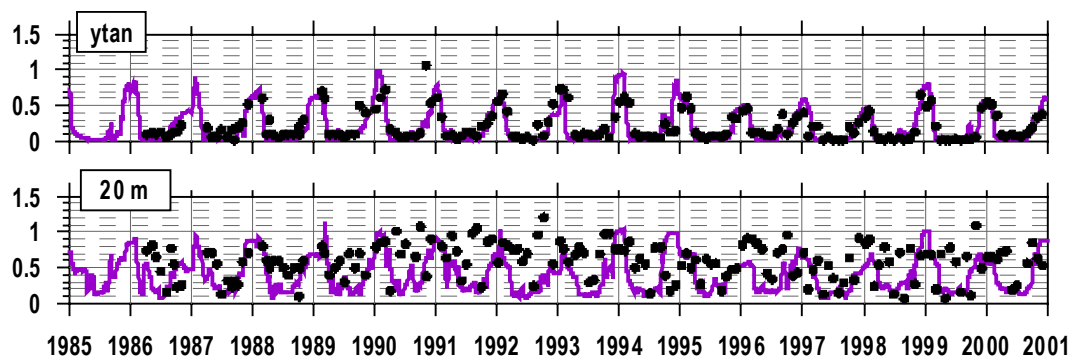
## Nitrat



Figur 91. Jämförelse mellan modellerad nitrat halt ( $\mu\text{mol/l}$ ) från **B04** och mätdata från station Valö. Gul linje visar modellresultat, svarta punkter observationer på 0 respektive 20 m djup

Årstidsvariationerna av nitrat halten i ytan beskrivs väl i modellen. Möjligen kan man ana att tömningen av ytvattnets nitrat halt under vårbloomingen är något sen, men generellt sett stämmer modell och observationer väl överens. Likaså på 20 m djup, där det inte går att skönja några större skillnader mellan modellens resultat och observationer.

## Fosfat



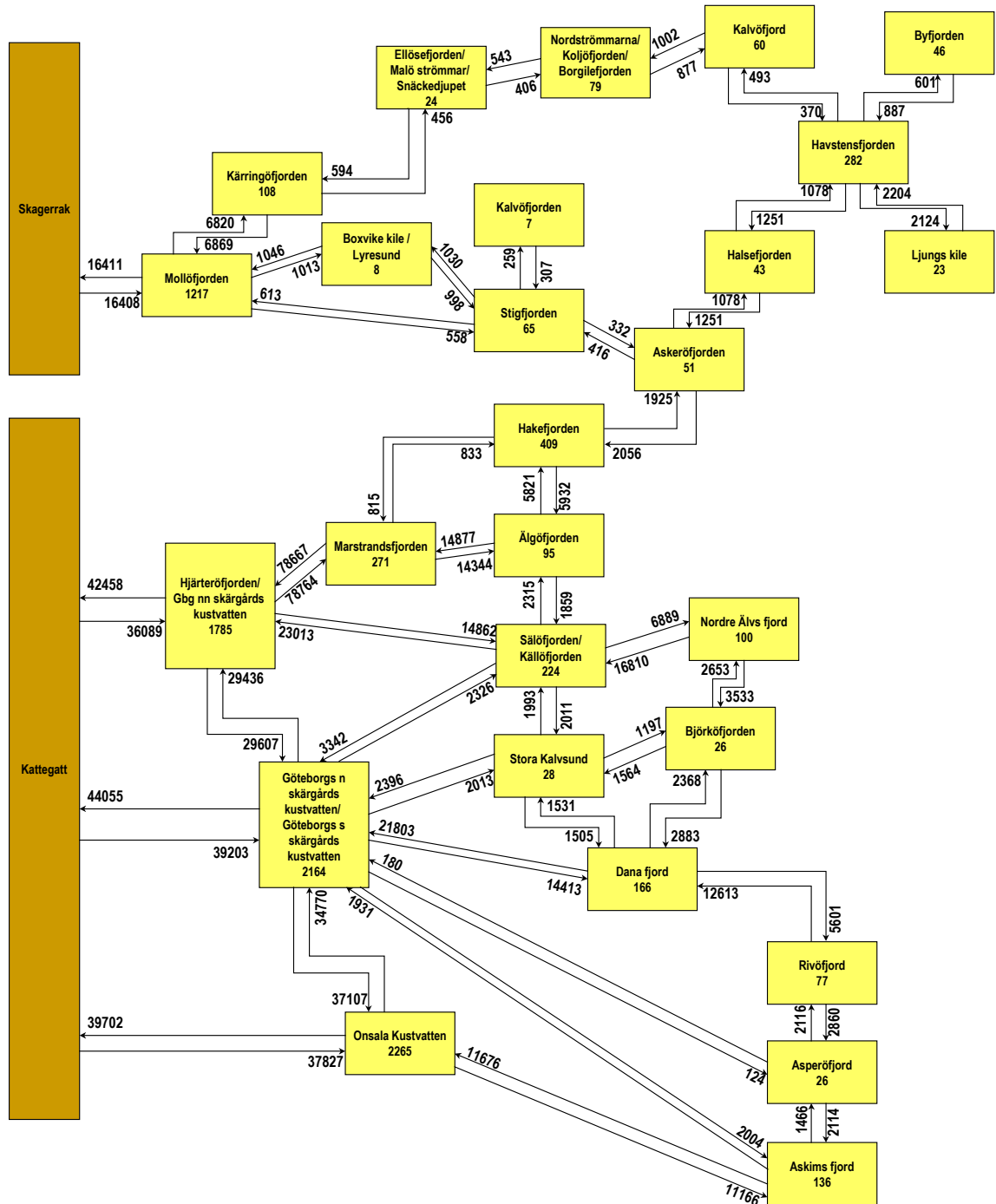
Figur 92. Jämförelse mellan modellerad fosfathalt ( $\mu\text{mol/l}$ ) från **B04** och mätdata från station Valö. Lila linje visar modellresultat, svarta punkter observationer på 0 respektive 20 m djup

Modellens årstidsvariation av fosfathalten i ytvattnet stämmer också väl med observationer. Däremot visar observationerna vid 20 m djup en större variation under produktionssäsongen och generellt högre halter än modellen visar. Detta antyder att vattenmassan vid station **Valö** är mer skiktad än vattenmassan i modellens bassäng **B24**.

## Transportberäkningar

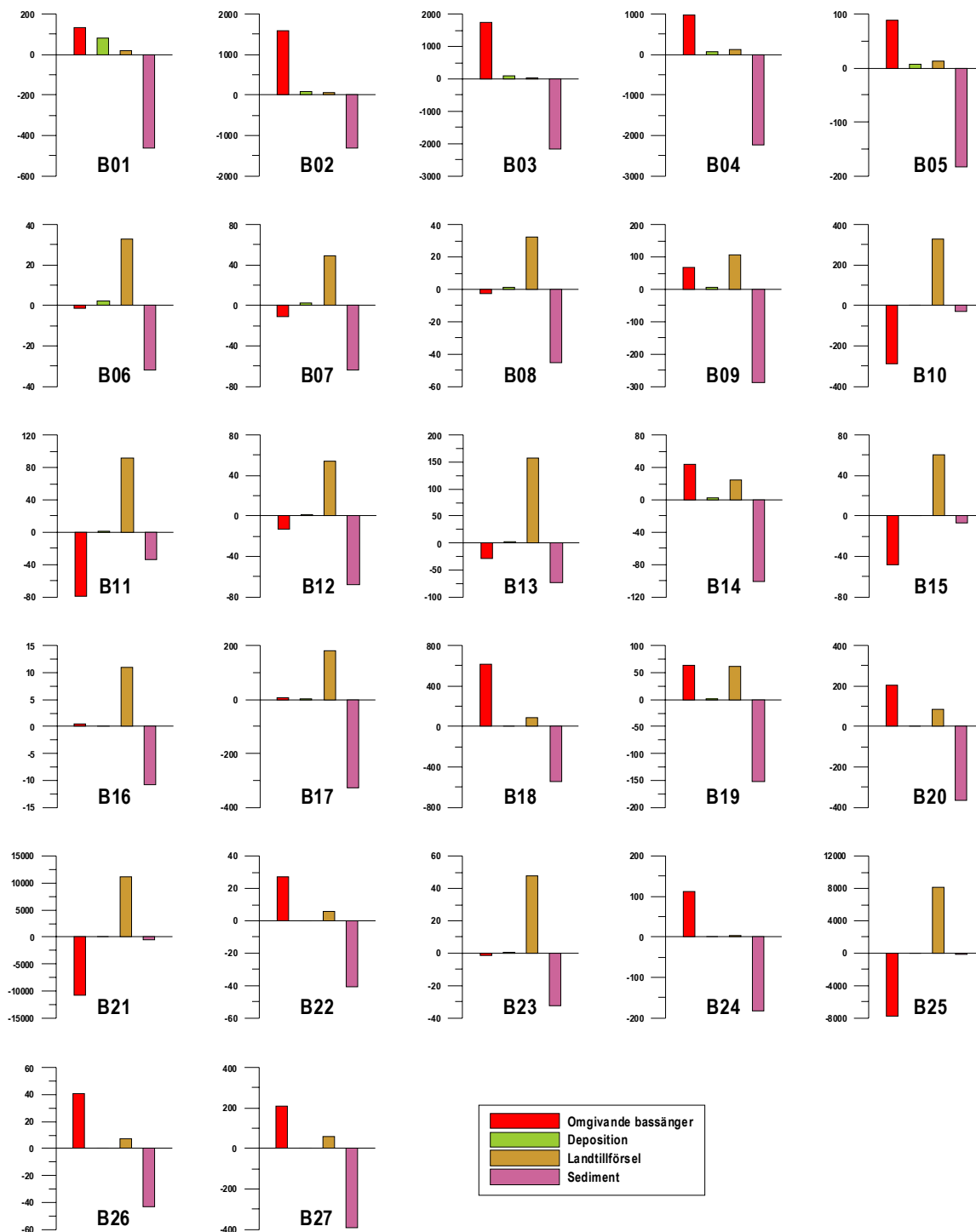
Efter att ha genomfört en validering av modellens resultat och funnit att modellen ger tillförlitliga resultat, kan man också bestämma flöden av tex. total-kväve och total-fosfor m.h.a. modellen.

### Total-kväve



Figur 93. Flöden av total-kväve (ton/år) mellan bassängerna i Bohusläns södra skärgårdsområde, beräknade m.h.a. Kustzonsmodellen. Siffran i varje bassäng anger ett årsmedelvärde av ton total-kväve i vattenmassan.

Till skillnad från norra delen av Bohusläns skärgård sker en nettoexport av total-kväve från kustzonen till utsjön, vilket till stor del hänger samman men att Göta Älv har sitt utlopp i området. Även Bäveåns tillförsel av total-kväve i Byfjorden transporteras vidare ut i systemet, vilket hänger samman med att fjordsystemet norr om Orust har ett mycket grunt tröskelområde till utsjön. Det innebär att det vatten som kommer in i fjordsystemet från utsjön har sitt ursprung i Skageracks ytvattnet, och på så sätt har mycket lägre koncentrationer.



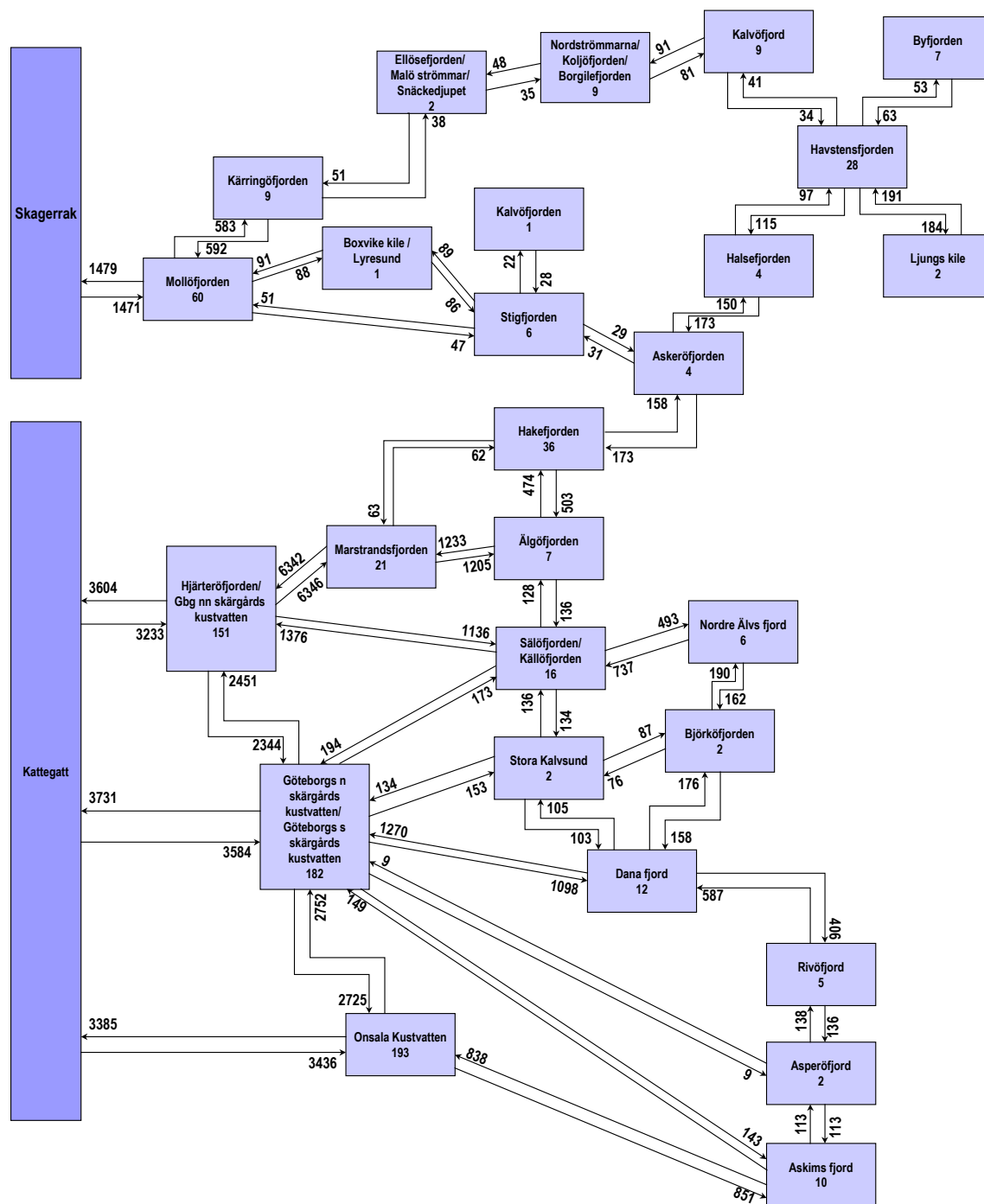
Figur 94. Transporter av total-kväve till och från varje bassäng. Notera att skalan är individuell för varje bassäng och varierar mycket från område till område. Positiva värden innebär import av total-kväve, negativa export.

På samma sätt som i norra Bohuslän har vi genomfört budgetberäkningar i varje havsområde med hjälp av Kustzonsmodellen och därigenom fastställt storleken på



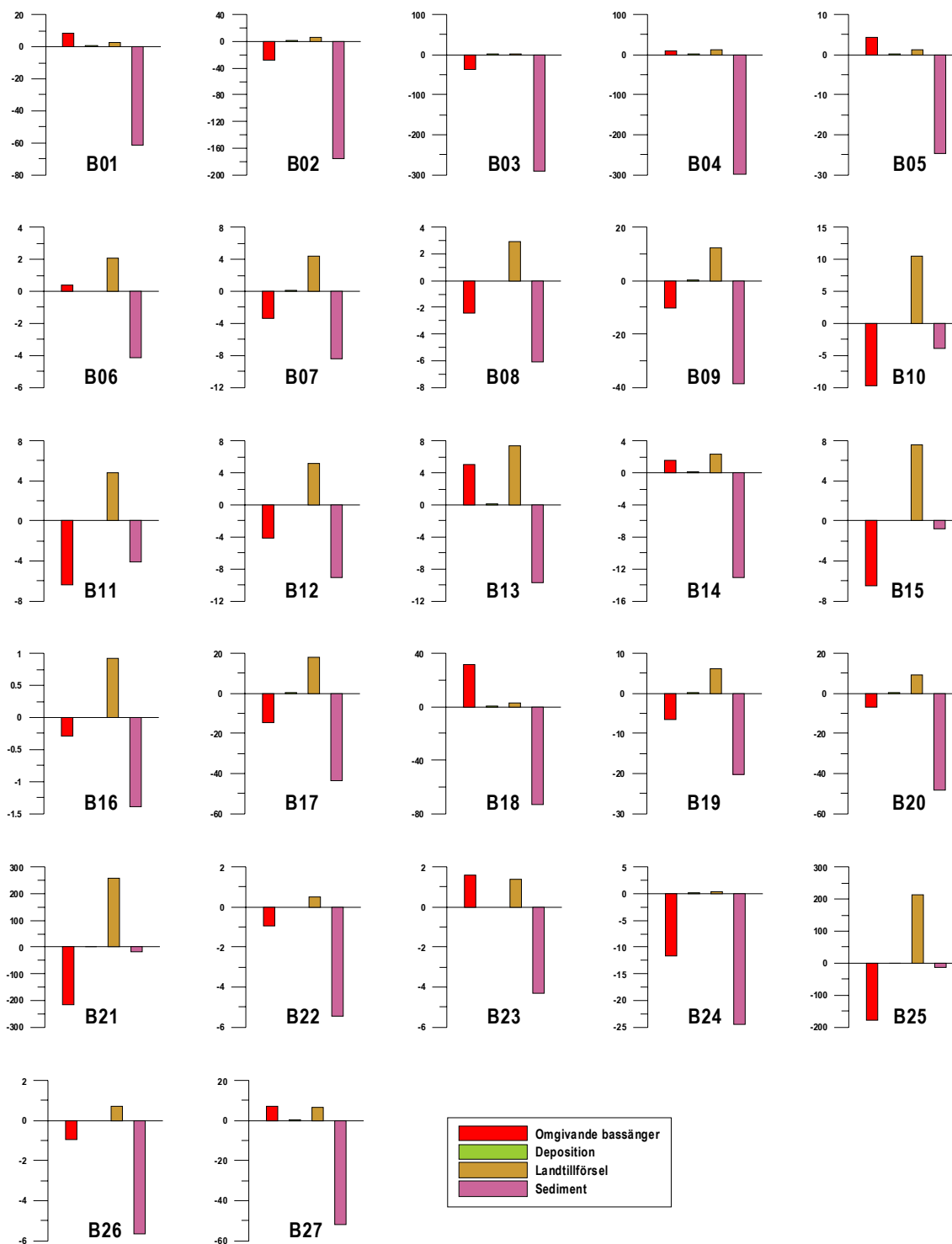
belastningen havsområdesvis. Figur 94 visar ett exempel på sådana budgetberäkningar för total-kväve, i form av stapeldiagram, där varje stapel anger nettotransporter. Notera att den export som sker till sedimenten till viss del försvinner från systemet genom av denitrifikation i sedimenten, men att resterande del fortfarande är tillgängligt till systemet och kan vid gynnsamma förhållanden återföras till vattenmassan.

### Total-fosfor



Figur 95. Flöden av total-fosfor (ton/år) mellan bassängerna i Bohusläns södra skärgårdsområde, beräknade m.h.a. Kustzonsmodellen. Siffran i varje bassäng anger ett årsmedelvärde av ton total-fosfor i vattenmassan.

På samma sätt och av samma orsak som för total-kväve sker en netto export av total-fosfor från kustzonen i sin helhet till utsjön, även om den allra sydligaste yttre kustbassängen, Onsala Kustvatten, importerar total-fosfor från utsjön. Den trånga förbindelsen till Skagerack norr om Orust och den stora belastningen från i första hand Göta Älv påverkar utbytet mellan Skagerack, Kattegatt och Bohusläns södra skärgård. Motsvarande havsområdesvisa budgetberäkningar som gjorts för total-kväve har även genomförts för total-fosfor och vars stapeldiagram återfinns i figur 96.



Figur 96. Transporter av total-fosfor till och från varje bassäng. Notera att skalan är individuell för varje bassäng och varierar mycket från område till område. Positiva värden innebär import av total-fosfor, negativa export.

## Slutord

---

Detta arbete har genomförts i samarbete med ett flertal kollegor på länsstyrelsen i Västra Götaland och på SMHI. Ett speciellt varmt tack riktas till Karin Pettersson och Hans Oscarsson på länsstyrelsen för att försett oss med indata från land, Daniel Björkert som gjort kartorna i rapporten samt Jörgen Sahlberg och Kari Eilola för värdefulla modelldiskussioner. Projektet har samfinansierats av Naturvårdsverket och SMHI.

## Referenser

---

- Areskoug, H. (1993): Nedfall av kväve och fosfor till Sverige, Östersjön och Västerhavet, Naturvårdsverket, rapport 4148.
- Brandt, M. & Ejhed, H. 2002. TRK. Transport - Retention - Källfördelning. Belastning på havet. Naturvårdsverket rapport 5247.
- Håkansson, B. & Moberg, M. 1990. Glommaälvens spridningsområde i nord-östra Skagerrak. SMHI Oceanografi nr 36.
- Marmefelt, E., Arheimer, B. & Lagner, J. 1999. An integrated biogeochemical model system for the Baltic Sea. *Hydrobiologia* 393: 45-56.
- Marmefelt, E., Håkansson, B., Erichsen, A.C. & Hansen, S. 2000. Development of an Ecological Model System for the Kattegat and the Southern Baltic. SMHI Rapport Oceanografi (RO) nr 29. 76 sid.
- Naturvårdsverket. 1999. Bedömningsgrunder för miljö kvalitet. Kust och hav. Naturvårdsverket Rapport 4914.
- Olsson, H. & Årnfelt, E. 2003. Kustzonsmodellen i regional miljöanalys. SMHI Oceanografi nr 74. 2003.
- Svensson, U. 1998. PROBE An Instruction Manual. SMHI Rapport Oceanografi (RO) nr 24.

## SMHIs publiceringar

SMHI ger ut sex rapportserier. Tre av dessa, R-serierna är avsedda för internationell publik och skrivs därför oftast på engelska. I de övriga serierna används det svenska språket.

<b>Seriernas namn</b>	<b>Publiceras sedan</b>
RMK (Rapport Meteorologi och Klimatologi)	1974
RH (Rapport Hydrologi)	1990
RO (Rapport Oceanografi)	1986
METEOROLOGI	1985
HYDROLOGI	1985
OCEANOGRAFI	1985

I serien OCEANOGRAFI har tidigare utgivits:

- 1 Lennart Funkquist (1985)  
En hydrodynamisk modell för spridnings- och cirkulationsberäkningar i Östersjön  
Slutrapport.
- 2 Barry Broman och Carsten Pettersson.  
(1985)  
Spridningsundersökningar i yttre fjärden Piteå.
- 3 Cecilia Ambjörn (1986).  
Utbyggnad vid Malmö hamn; effekter för Lommabuktens vattenutbyte.
- 4 Jan Andersson och Robert Hillgren (1986).  
SMHIs undersökningar i Öregrundsgrepen perioden 84/85.
- 5 Bo Juhlin (1986)  
Oceanografiska observationer utmed svenska kusten med kustbevakningens fartyg 1985.
- 6 Barry Broman (1986)  
Uppföljning av sjövärmepump i Lilla Värtan.
- 7 Bo Juhlin (1986)  
15 års mätningar längs svenska kusten med kustbevakningen (1970 - 1985).
- 8 Jonny Svensson (1986)  
Vågdata från svenska kustvatten 1985.
- 9 Barry Broman (1986)  
Oceanografiska stationsnät - Svenskt Vattenarkiv.
- 11 Cecilia Ambjörn (1987)  
Spridning av kylvatten från Öresundsverket
- 12 Bo Juhlin (1987)  
Oceanografiska observationer utmed svenska kusten med kustbevakningens fartyg 1986.
- 13 Jan Andersson och Robert Hillgren (1987)  
SMHIs undersökningar i Öregrundsgrepen 1986.
- 14 Jan-Erik Lundqvist (1987)  
Impact of ice on Swedish offshore lighthouses. Ice drift conditions in the area at Sydostbrotten - ice season 1986/87.
- 15 SMHI/SNV (1987)  
Fasta förbindelser över Öresund - utredning av effekter på vattenmiljön i Östersjön.
- 16 Cecilia Ambjörn och Kjell Wickström (1987)  
Undersökning av vattenmiljön vid utfyllnaden av Kockums varvsbassäng.  
Slutrapport för perioden 18 juni - 21 augusti 1987.
- 17 Erland Bergstrand (1987)  
Östergötlands skärgård - Vattenmiljön.
- 18 Stig H. Fonselius (1987)  
Kattegatt - havet i väster.
- 19 Erland Bergstrand (1987)  
Recipientkontroll vid Breviksnäs fiskodling 1986.

- 20 Kjell Wickström (1987)  
Bedömning av kylvattenrecipienten för ett kolkraftverk vid Oskarshamnsverket.
- 21 Cecilia Ambjörn (1987)  
Förstudie av ett nordiskt modellsystem för kemikaliespridning i vatten.
- 22 Kjell Wickström (1988)  
Vågdata från svenska kustvatten 1986.
- 23 Jonny Svensson, SMHI/National Swedish Environmental Protection Board (SNV) (1988)  
A permanent traffic link across the Öresund channel - A study of the hydro-environmental effects in the Baltic Sea.
- 24 Jan Andersson och Robert Hillgren (1988)  
SMHIs undersökningar utanför Forsmark 1987.
- 25 Carsten Peterson och Per-Olof Skoglund (1988)  
Kylvattnet från Ringhals 1974-86.
- 26 Bo Juhlin (1988)  
Oceanografiska observationer runt svenska kusten med kustbevakningens fartyg 1987.
- 27 Bo Juhlin och Stefan Tobiasson (1988)  
Recipientkontroll vid Breviksnäs fiskodling 1987.
- 28 Cecilia Ambjörn (1989)  
Spridning och sedimentation av tippat ler-material utanför Helsingborgs hamnområde.
- 29 Robert Hillgren (1989)  
SMHIs undersökningar utanför Forsmark 1988.
- 30 Bo Juhlin (1989)  
Oceanografiska observationer runt svenska kusten med kustbevakningens fartyg 1988.
- 31 Erland Bergstrand och Stefan Tobiasson (1989)  
Samordnade kustvattenkontrollen i Östergötland 1988.
- 32 Cecilia Ambjörn (1989)  
Oceanografiska förhållanden i Brofjorden i samband med kylvattenutsläpp i Trommekilen.
- 33a Cecilia Ambjörn (1990)  
Oceanografiska förhållanden utanför Vendelsöfjorden i samband med kylvattenutsläpp.
- 33b Eleonor Marmefelt och Jonny Svensson (1990)  
Numerical circulation models for the Skagerrak - Kattegat. Preparatory study.
- 34 Kjell Wickström (1990)  
Oskarshamnsverket - kylvattenutsläpp i havet - slutrapport.
- 35 Bo Juhlin (1990)  
Oceanografiska observationer runt svenska kusten med kustbevakningens fartyg 1989.
- 36 Bertil Håkansson och Mats Moberg (1990)  
Glommaälvens spridningsområde i nordöstra Skagerrak
- 37 Robert Hillgren (1990)  
SMHIs undersökningar utanför Forsmark 1989.
- 38 Stig Fonselius (1990)  
Skagerrak - the gateway to the North Sea.
- 39 Stig Fonselius (1990)  
Skagerrak - porten mot Nordsjön.
- 40 Cecilia Ambjörn och Kjell Wickström (1990)  
Spridningsundersökningar i norra Kalmar-sund för Mönsterås bruk.
- 41 Cecilia Ambjörn (1990)  
Strömningsteknisk utredning avseende utbyggnad av gipsdeponi i Landskrona.
- 42 Cecilia Ambjörn, Torbjörn Grafström och Jan Andersson (1990)  
Spridningsberäkningar - Klints Bank.
- 43 Kjell Wickström och Robert Hillgren (1990)  
Spridningsberäkningar för EKA-NOBELS fabrik i Stockviksverken.
- 44 Jan Andersson (1990)  
Brofjordens kraftstation - Kylvattenspridning i Hanneviken.
- 45 Gustaf Westring och Kjell Wickström (1990)  
Spridningsberäkningar för Höganäs kommun.

- 46 Robert Hillgren och Jan Andersson (1991)  
SMHIs undersökningar utanför Forsmark  
1990.
- 47 Gustaf Westring (1991)  
Brofjordens kraftstation - Kompletterande  
simulering och analys av kylvattenspridning  
i Trommekilen.
- 48 Gustaf Westring (1991)  
Vågmätningar utanför Kristianopel -  
Slutrapport.
- 49 Bo Juhlin (1991)  
Oceanografiska observationer runt svenska  
kusten med kustbevakningens fartyg 1990.
- 50A Robert Hillgren och Jan Andersson  
(1992)  
SMHIs undersökningar utanför Forsmark  
1991.
- 50B Thomas Thompson, Lars Ulander,  
Bertil Håkansson, Bertil Brusmark,  
Anders Carlström, Anders Gustavsson, Eva  
Cronström och Olov Fäst (1992).  
BEERS -92. Final edition.
- 51 Bo Juhlin (1992)  
Oceanografiska observationer runt svenska  
kusten med kustbevakningens fartyg 1991.
- 52 Jonny Svensson och Sture Lindahl (1992)  
Numerical circulation model for the  
Skagerrak - Kattegat.
- 53 Cecilia Ambjörn (1992)  
Isproppsförebyggande muddring och dess  
inverkan på strömmarna i Torneälven.
- 54 Bo Juhlin (1992)  
20 års mätningar längs svenska kusten med  
kustbevakningens fartyg (1970 - 1990).
- 55 Jan Andersson, Robert Hillgren och  
Gustaf Westring (1992)  
Förstudie av strömmar, tidvatten och  
vattenstånd mellan Cebu och Leyte,  
Filippinerna.
- 56 Gustaf Westring, Jan Andersson,  
Henrik Lindh och Robert Axelsson (1993)  
Forsmark - en temperaturstudie.  
Slutrapport.
- 57 Robert Hillgren och Jan Andersson (1993)  
SMHIs undersökningar utanför Forsmark  
1992.
- 58 Bo Juhlin (1993)  
Oceanografiska observationer runt svenska  
kusten med kustbevakningens fartyg 1992.
- 59 Gustaf Westring (1993)  
Isförhållandena i svenska farvatten under  
normalperioden 1961-90.
- 60 Torbjörn Lindkvist (1994)  
Havsområdesregister 1993.
- 61 Jan Andersson och Robert Hillgren (1994)  
SMHIs undersökningar utanför Forsmark  
1993.
- 62 Bo Juhlin (1994)  
Oceanografiska observationer runt svenska  
kusten med kustbevakningens fartyg 1993.
- 63 Gustaf Westring (1995)  
Isförhållanden utmed Sveriges kust - issta-  
tistik från svenska farleder och farvatten  
under normalperioderna 1931-60 och  
1961-90.
- 64 Jan Andersson och Robert Hillgren (1995)  
SMHIs undersökningar utanför Forsmark  
1994.
- 65 Bo Juhlin (1995)  
Oceanografiska observationer runt svenska  
kusten med kustbevakningens fartyg 1994.
- 66 Jan Andersson och Robert Hillgren (1996)  
SMHIs undersökningar utanför Forsmark  
1995.
- 67 Lennart Funkquist och Patrik Ljungemyr  
(1997)  
Validation of HIROMB during 1995-96.
- 68 Maja Brandt, Lars Edler och  
Lars Andersson (1998)  
Översvämningar längs Oder och Wisla  
sommaren 1997 samt effekterna i  
Östersjön.
- 69 Jörgen Sahlberg SMHI och Håkan Olsson,  
Länsstyrelsen, Östergötland (2000).  
Kustzonsmodell för norra Östergötlands  
skärgård.
- 70 Barry Broman (2001)  
En vågatlas för svenska farvatten.
- 71 ***Vakant – kommer ej att utnyttjas!***
- 72 Fourth Workshop on Baltic Sea Ice  
Climate Norrköping, Sweden 22-24 May,  
2002 Conference Proceedings  
Editors: Anders Omstedt and Lars Axell

- 73 Torbjörn Lindkvist, Daniel Björkert, Jenny Andersson, Anders Gyllander (2003)  
Djupdata för havsområden 2003
- 74 Håkan Olsson, SMHI (2003)  
Erik Årnefelt, Länsstyrelsen Östergötland  
Kustzonssystemet i regional miljöanalys
- 75 Jonny Svensson och Eleonor Marmefelt (2003)  
Utvärdering av kustzonsmodellen för norra Östergötlands och norra Bohusläns skärgårdar





Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut  
601 76 Norrköping  
Tel 011 -495 80 00 · Fax 011-495 80 01