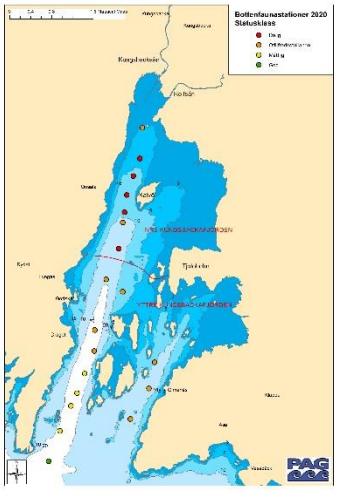
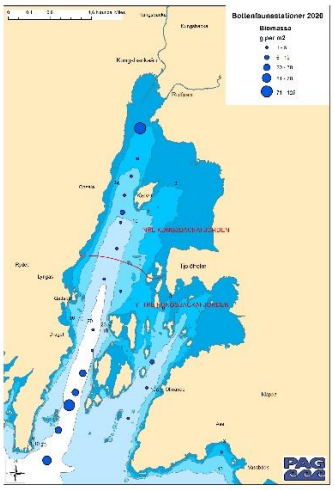
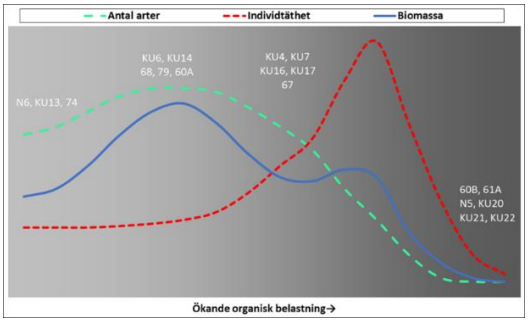
MILJÖTILLSTÅNDET FÖR BOTTENFAUNAN I KUNGSBACKAFJORDEN 2020

Peter Göransson







PAG Miljöundersökningar
KUSTGATAN 40 B, 252 70 RÅÅ • TELEFON +46 0705-26 10 75
E-MAIL: pag.miljo@gmail.com
HEMSIDA: pagenvironment.com

Omslagsbild: Kungsbackafjordens mynning. Till vänster Fjordskär med dess fyr. Till höger Yttre och Inre Lön, Ramnö och Vindö. Foto: Peter Göransson, PAG©.

Därunder: Statusklass och biomassa för bottenfaunastationerna i Kungsbackafjorden

Underst: Pearson-Rosenbergs modell för bottenfaunans reaktion på organisk belastning och föreslagna lägen för bottenfaunastationerna i Kungsbackafjorden.

Rapporten är granskad av Fil dr Ingemar Ohlsson.

Innehållsförteckning

1 Sammanfattning ... 4

2 Bakgrund och syfte ... 5

2.1 Målsättning ... 6

2.2 Område ... 6

2.2.1 Tillförsel av näringsämnen ... 7

2.3 Metodik ... 10

2.3.1 Provtagning av bottenfauna ... 10

2.3.2 Provtagning av Sediment ... 11

2.3.3 Analysarbete ... 11

2.3.4 Kvalitetssäkring ... 11

3 Tillståndet för bottenfaunan 2020 ... 12

3.1 Benthic Quality Index, BQI ... 12

3.1.1 Inre Kungsbackafjorden ... 12

3.1.2 Yttre Kungsbackafjorden ... 13

3.2 Antal taxa, Individtäthet och Biomassa ... 15

3.2.1 Antal taxa ... 15

3.2.2 Individtäthet ... 17

3.2.3 Biomassa ... 19

3.3 Sediment ... 21

3.3.1 Sedimentkaraktär ... 21

3.3.2 Organisk halt ... 22

3.3.3 Redoxpotential ... 23

3.4 Sammanfattande bedömning av tillståndet 2020 för hela Kungsbackafjorden ... 25

4 UTVECKLINGEN 2008-2020 ... 26

4.1 Trender för Benthic Quality Index, BQI ... 26

4.1.1 Inre Kungsbackafjorden ... 26

4.1.2 Yttre Kungsbackafjorden ... 29

4.2 Trender för antal arter, individtäthet och biomassa, organisk halt och redoxpotential ... 32

4.2.1 Totalt antal taxa, individtäthet och biomassa ... 32

4.2.2 Organisk halt i sediment ... 33

4.2.3 Redoxpotential i sediment ... 35

4.3 Tillbakablick på perioden 1969-2009 och 1930-talet ... 36

4.3.1 Perioden 1969-2009 ... 36

4.3.2 En återblick till 1930-talet ... 36

4.4 Sammanfattning av den långsiktiga utvecklingen ... 39

4.4.1 Sammanställning av resultat 2008-2020 ... 39

4.4.2 Pearson-Rosenbergs modell för organisk belastning ... 40

4.5 Troliga orsaker till utvecklingen ... 41

4.5.1 Näringsämnen och organisk belastning ... 41

4.5.2 Klimatförändringar och ökad temperatur ... 42

4.5.3 Rödlistade arter och klimatförändringar ... 44

5 Referenser ... 45

1 Sammanfattning

I samband med ansökan om utökat tillstånd för Hammargårds avloppsreningsverk har Kungsbacka kommun förelagts att inkomma med kompletteringar till ansökan avseende påverkan av de ökade utsläppsmängderna på bottenfaunan i Kungsbackafjorden.

Föreliggande rapport är en sammanställning av undersökningar på 19 stationer av bottenfauna i Kungsbackafjorden 2008-2020 som utförts på uppdrag av Länsstyrelsen i Hallands län. På 5 av stationerna har även organisk halt och redoxpotential uppmätts. Resultaten jämförs inbördes och med undersökningar 1969-2009 samt ställs i relation till data från 1930-talet.

För 2020 uppvisar Naturvårdsverkets bedömningsgrunder för bottenfaunan (Benthic Quality Index, BQI) dålig status för djupintervallet 5-20 m i inre Kungsbackafjorden. För yttre Kungsbackafjorden är statusen otillfredsställande för djupintervallet 5-20 m och måttlig för bottnar djupare än 20 meter.

Antalet taxa (arter och obestämda grupper), individtätheten och biomassan är genomgående mycket låga i djupintervallet 5-25m och ökar kraftigt vid 25 meters djup. Resultat från undersökningar som utförts från strandkanten och ut till 4 meters djup, som inte kan statusklassas, visar på en tämligen normal bottenfauna för Västkusten.

En sammanfattande bedömning som utgår både från BQI, biomassa, redoxpotential och visuella bedömningar av sediment pekar på genomgående mycket dålig syresättning och fattig bottenfauna i djupintervallet 5-25 meter från inre delen av fjorden och långt ut i den yttre. Dessa bottnar utgörs till största delen av ackumulationsbottnar och ansamlingarna av växtmaterial är troligen så stora att bottenfaunan inte kan omsätta det. Detta är en försämring sedan perioden 1969-2009 då endast bottnar på mellandjup ansågs kraftigt belastade.

Utvecklingen 2008-2020 visar endast på statistiskt signifikant minskande trender för BQI.
De senaste årens resultat av mätningar av redoxpotential pekar på genomgående försämringar av syresättningen av sedimenten, framförallt i den inre och mellersta fjorden. De oxiderade förhållandena har under 1990-talet varit bättre än under 1980-talet men har åter försämrats under 2000-talet.

Kvävehalterna i ytvattnet har minskat kraftigt under perioden 1993-2020. Detta bör ha minskat primärproduktionen vilket betyder mindre föda till bottendjuren. Förändringen bör ha haft stor betydelse för utvecklingen av bottenfaunan, både avseende antal arter och individtäthet och biomassa.

Temperaturen i bottenvattnet har däremot ökat betydligt under perioden 1994-2020. De relativt kraftiga ökningarna kan få omfattande konsekvenser för ekosystemet. Flera faktorer talar för långsiktigt lägre syrenivå, exempelvis ökad nedbrytningshastighet av organiskt material, minskad löslighet för syre och förstärkt språngskikt. Dessutom kan artsammansättningen förändras så att nordliga arter minskar och sydliga arter ökar. Det senare har redan skett under perioden 1993-2020.

Redan omkring 1930 fanns indikationer på hög organisk belastning på några bottnar i mellersta och yttre Kungsbackafjorden. Kungsbackafjorden är särskilt känslig för eutrofiering och klimat-förändringar eftersom organiskt material ackumuleras trots god vattenomsättning.

2 Bakgrund och syfte

I samband med inlämnandet av en ansökan om utökat tillstånd för Hammargårds avloppsreningsverk har Kungsbacka kommun förelagts att inkomma med kompletteringar till ansökan under 2021. Miljöprövningsnämnden anser att kommunen bör utreda påverkan av de ökade utsläppsmängderna på bottenfaunan i Kungsbackafjorden.

PAG Miljöundersökningar har sammanställt föreliggande rapport som underkonsult till SWECO på uppdrag av Kungsbacka kommun. PAG har utfört regelbundna undersökningar av bottenfauna och sediment i Kungsbackafjorden på uppdrag av Länsstyrelsen i Hallands län sedan 1993.

Bottenfaunan kan anses ge ett sammanfattande, integrerat, mått på miljöförhållandena (Göransson 2002). Detta beror på att de flesta djuren är stationära och fleråriga vilket innebär att de får utstå varierande miljöförhållanden på samma plats under en lång tidsperiod. Födobasen för djurlivet på havsbottnen är plankton vars tillväxt i sin tur gynnas av närsalter som kommer från aktiviteter på land. Bottenfaunan ger alltså ett sammanfattande mått på de snabba förlopp som är karakteristiska för produktionen i ytvattnet och som ofta är svåra att få grepp om. Många omgivande faktorer påverkar bottenfaunan som till exempel salthalt, temperatur och strömförhållanden. I det fortsatta behandlas dock endast organisk belastning och klimatförhållanden eftersom mycket pekar på att dessa är de faktorer är betydelsefulla och som vi människor främst kan påverka.

Bottenfaunan påverkas av ökande organisk belastning enligt den vedertagna Pearson-Rosenberg-modellen (Pearson & Rosenberg 1978). I mycket grova drag innebär denna att faunan gynnas av ökande belastning upp till en viss nivå då antalet arter och den totala biomassan ökar. Över denna belastningsnivå kan syrebrist uppträda vilken påverkar faunan negativt och antalet arter och den totala biomassan sjunker. Vid extrema situationer dominerar någon art kraftigt och den totala individtätheten kan bli onormalt hög. Man brukar räkna med att de känsligaste djuren påverkas negativt vid syrehalter under ca 1 ml/l (15 % mättnad) i bottenvattnet (Rosenberg et al 1991). Syrebrist kan dock uppstå i kraftigt organiskt belastade sediment även om syrehalterna i bottenvattnet är förhållandevis goda. Syrehalten sjunker ofta drastiskt alldeles invid själva bottenytan. Detta är omöjligt att upptäcka vid traditionella provtagningar i vattnet.

Det har också visats att bottenfaunans biomassa i danska estuarier hänger samman med belastningen av näringsämnen (Josefson & Rasmussen 2000). Biomassan påverkas positivt och linjärt upp till en mycket hög belastningsnivå varefter ökningen avtar. I vissa fall noteras minskande biomassa vid mycket hög belastning. I vilken grad bottenfaunans biomassa påverkas beror troligen på uppehållstiden i estuariet.

Det finns flera förutsägelser om att klimatförändringar påverkar bottenfaunan, men hittills finns endast få rapporter som pekar på smärre förändringar. Minskningar av det totala antalet taxa och arter med nordlig utbredning parallellt med en ökning av arter med sydlig utbredning längs Hallandskusten 1993-2016 kan vara resultatet av klimatförändringar (Göransson 2017). Ökningen av bottenvattnets temperatur är den mest troliga förklaringen. Ökad temperatur kan förändra arternas utbredningsområde men också innebära att primärproduktionen minskar, vilket kan påverka arternas rekrytering och tillväxt. Dessutom kan ökad temperatur öka förekomsten av syrebrist. Syrebrist och bottentrålning kan samverka till förändringar av faunan. Bottentrålning förekommer dock inte i Kungsbackafjorden.

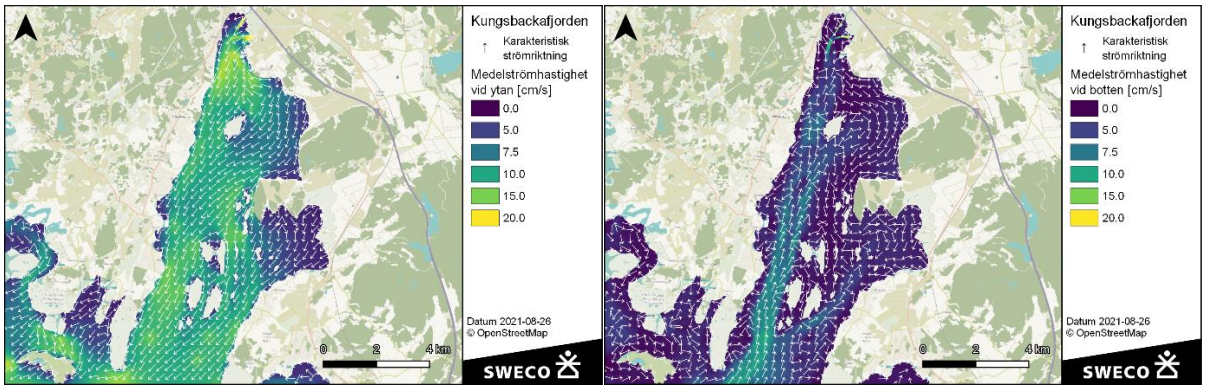
2.1 Målsättning

Målsättningarna med föreliggande rapport är att ge en bild av nuvarande miljötillstånd för bottenfaunan med en tillbakablick på utvecklingen tillbaka i tiden. Mer eller mindre reguljära undersökningar har utförts sedan 1969 på flera stationer varav två (N5 och N6) provtas sedan 1993 inom ramen för det samordnade programmet för Hallandskusten. Sedan 2012 har Länsstyrelsen i Halland startat årliga provtagningar på ytterligare 16 stationer. Undersökningarna av bottenfaunan kompletteras med provtagningar av sediment och redoxpotential i sediment på fem av stationerna.

2.2 Område

Kungsbackafjorden är belägen på den mellersta delen av svenska västkusten. Fjordens totala yta uppgår till 50 km $^{2.}$ Den bentiska zonen sträcker sig från de grunda bottnarna i den innersta fjorddelen ner till 34 meters djup i fjordmynningen. Bottensubstratet varierar generellt från sandiga-grusiga sediment i strandnära områden till finkorniga ackumulationsbottnar i den djupare delen av fjorden. På den västra sidan dominerar finkorniga substrat i de djupare delarna medan grövre substrat finns även på djupt vatten i den östra delen. Eftersom det inte finns någon tröskel i fjordmynningen påverkas fjorden i hög grad av ytvattnet i Kattegatt. Detta vatten påverkas i sin tur i hög grad av den söderifrån kommande Baltiska strömmen med en salthalt av ca 20 PSU. Det råder marina förhållanden i den djupaste fjorddelen med en salthalt på ca 34 PSU. På nivån 10-20 meters djup finns en haloklin, som rör sig vertikalt beroende på inflödet av baltiskt vatten och vindförhållanden (Rydberg, 1982). Haloklinen utmärks av interna vågor, vilka ute i Kattegatt kan nå en våghöjd på åtskilliga meter. Vågorna rör sig med en hastighet på ca 1 meter per sekund och har avgörande betydelse för fjordens vattenutbyte. Bottenfaunan i haloklinen måste anpassa sig till och kunna uthärda olika stressfaktorer i den krävande miljön (Rosenberg et al 1992).

Vattendjup, vattnets stratifiering, strömmar, bottensubstrat och dess innehåll av organiska ämnen är av stor betydelse för bottenfaunans sammansättning, individtäthet och biomassa. Enligt SWECO (2021) är går de karakteristiska ytströmmarna ut från fjordens inre delar och ut mot Kattegatt medan det motsatta gäller strömmen vid botten. Strömmen vid ytan är betydligt kraftigare än vid botten (Figur 1). Vattnets omsättningstid är relativt kort i Kungsbackafjorden, medelvärdet för inre fjorden är endast 4,62 dagar medan yttre fjorden har ett högre medelvärde, 12,91 dagar (SLU 2021).



Figur 1. Karakteristisk strömriktning i ytan (till vänster) och botten i Kungsbackafjorden (SWECO 2021)

Bottendjupet stratifierar faunan, eftersom salthalten ökar med stigande djup. Låga salthalter och salthaltsväxlingar ger en avsevärd fysiologisk stress för marina djur och resulterar i lågt artantal och låg biomassa. Starka strömmar innebär en hög förekomst av filtrerare, medan svaga strömmar ger en dominans av depositionsätare. En stratifiering av vattnet är negativt för det vertikala vattenutbytet. Bottnar på haloklinnivån 10-20 meter är ofta stressade beroende på salthalts- och temperaturväxlingar samt på låga syrgashalter. Ökad temperatur kan här negativt påverka syrgashalten. En kraftigare stratifiering av vattnet, vilken hindrar transporten av syre från yt- till bottenvattnet, en kraftigare nerbrytning av sedimenterat organiskt material i sedimentet och minskad löslighet för syre i vattnet är samtliga faktorer, som försämrar syrgasförhållandena.

Den omväxlande miljön i fjorden skapar förutsättningar för en art- och individrik bottenfauna som växlar starkt i karaktär med djupet och bottentypen. De grundaste bottnarna karaktäriseras av en individrik brackvattenfauna och djupare vidtar en fauna som är typisk för stora delar av Västkusten och huvudsakligen domineras av filtrerande musslor. Bottnarna kring salthaltssprångskiktet domineras typiskt av ”fjordsamhället”, som är ett särskilt viktigt födosöksområde för bottenlevande fiskar. De djupaste bottnarna, väl under salthalts-språngskiktet, domineras typiskt av ormstjärnor. De grunda bottnarna kan hänföras till EU:s habitatdirektiv, Natura 2000. Kungsbackafjorden har dessutom genomgående kvaliteter genom sin stora biologiska variation och som uppväxt- och födosöksområde för fiskar och fåglar. Vid undersökningar 1969-2009 har 376 taxa av makrofauna påträffats i området (Göransson & Olsson 2015).

I föreliggande rapport behandlas bottnar som kan statusklassas enligt Naturvårdsverkets bedömningsgrunder vilket inte innefattar bottnar grundare än 5 meter. Resultaten från de undersökningar som utförts från strandkanten och ut till 4 meters i Kungsbackafjorden djup visar på en tämligen normal bottenfauna för Västkusten.

Den införda amerikanska havsborstmasken *Marenzelleria* cf *viridis som* påträffades för första gången i Kungsbackafjorden 2006 har noterats varje år därefter. Masken har dock endast påträffats i låga individtätheter från knädjupt vatten och ut till 9 meters djup.

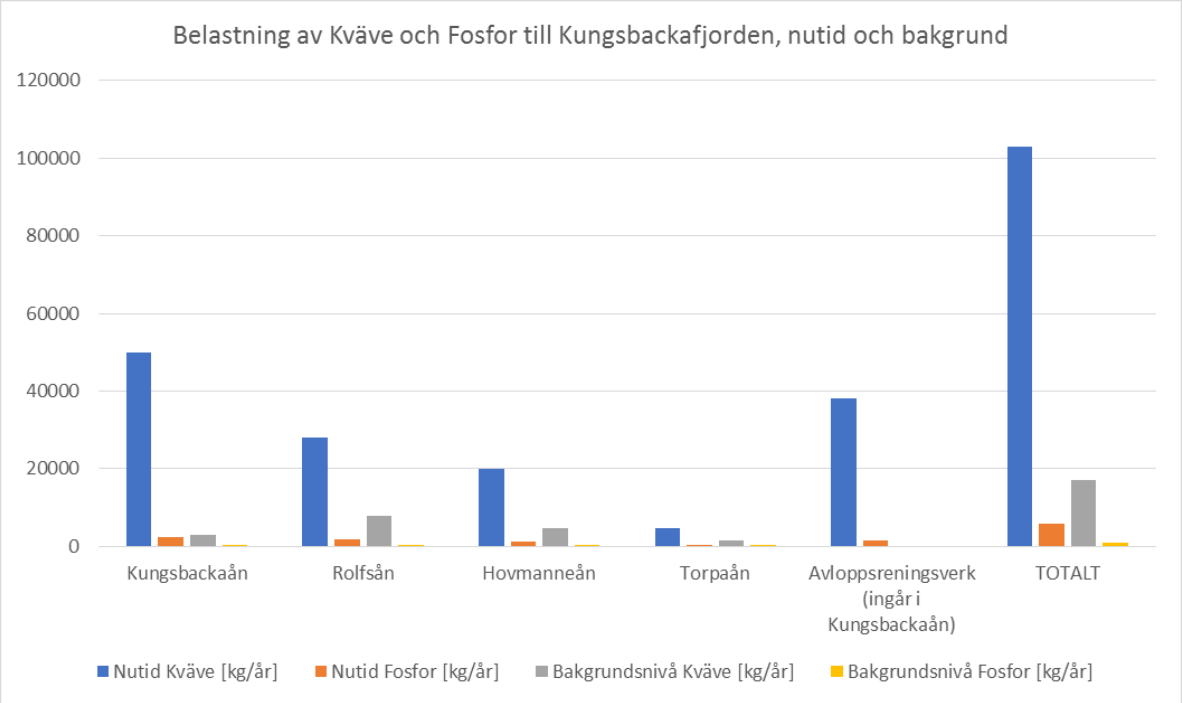
Bottentrålning förekommer inte i fjorden. Därför kan direkt påverkan av trålning uteslutas till skillnad från i Kattegatt. Här har förekomsten av rovfiskar minskat avsevärt, vilket kan misstänkas ha påverkat även fjordens ekosystem.

2.2.1 Tillförsel av näringsämnen

Näringsämnen tillförs Kungsbackafjorden huvudsakligen via två vattendrag längst in i fjorden, Kungsbackaån och Rolfsån samt från Reningsverket vid Hammargård i Kungsbackaån. Dessutom bidrar två smärre vattendrag som mynnar på östra sidan av fjorden (Figur 2).

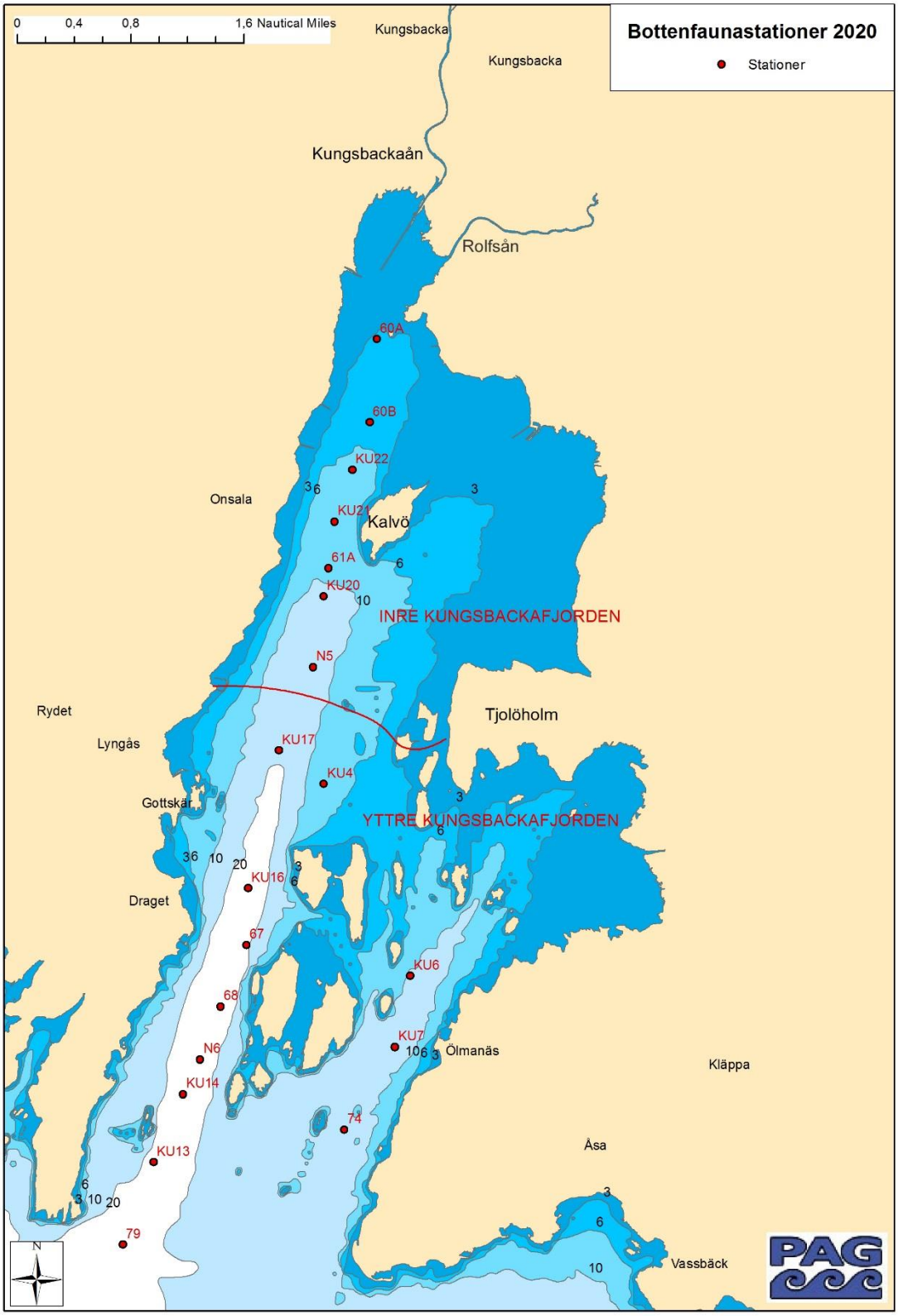
Under sen vår och sommar (maj-september) är vindar med en västlig komponent dominerande. Under resterande delar av året är sydvästliga och sydliga vindar mer vanligt förekommande.
I Inre Kungsbackafjorden mynnar två vattendrag, Kungsbackaån och Rolfsån, vilka påverkar de lokala strömningsmönstren och spridningen av vattenlösliga ämnen. Medelflödet i Rolfsån är 13,7 m3/s enligt SMHI:s vattenweb. Det är tydligt att de allra högsta halterna fås i den inre grunda delen av fjorden. Därefter sprids de lösta ämnena snabbt utåt mot havet på grund av omblandning med

havsvattnet. Bidraget från verksamheten är betydligt lägre längs med östra delen av fjorden eftersom flödet från Rolfsån både späder ut Kungsbackaåns flöde och trycker Kungsbackaåns flöde västerut (SWECO 2021).



Figur 2. Tillförsel av kväve och fosfor till Kungsbackafjorden. Nutid och bakgrundsnivå från fyra vattendrag och avloppsreningsverk. Data från SWECO 2021.

Den framtida förändring som är aktuell för verksamheten vid Hammargårds avloppsreningsverk är en successivt ökad belastning framförallt p.g.a. ökad folkmängd inom nuvarande verksamhetsområde men också beroende på visst utökat verksamhetsområde och ökad anslutning av enskilda avlopp. Belastningsökningen innebär att avloppsreningsverkets behandlingskapacitet successivt måste anpassas härtill. Den framtida belastningen av kväve på reningsverket förväntas öka från nuvarande 530 kg kväve/dag till 1300 kg kväve/dag och för fosfor från 70 till 190 kg/dag. Vidare kommer belastningen av organisk substans som BOD_7 öka från 2700 kg/dag till 6700 kg/dag (Embreco 2021). Det är alltså väsentliga ökningar av kväve (2,4 gånger), fosfor (2,7 gånger) och organiskt material (2,5 gånger).



Figur 1. Kungsbackafjorden med djupförhållanden och provtagningspunkter. Gräns för inre- och yttre Kungsbackafjorden enligt EU:s vattendirektiv inlagd mitt i fjorden. Djupkurvorna anger gränserna för 3, 6, 10 och 20 meters djup. På stationerna 60A, 60B, 61A, N5 och N6 tas fem bottenfaunaprov årligen, dessutom analyseras organisk halt och redoxpotential i sedimenten. På övriga stationer tas ett bottenfaunaprov årligen.

2.3 Metodik

2.3.1 Provtagning av bottenfauna

Bottenfaunan i Kungsbackafjorden har undersökts på ett stort antal stationer sedan 1969 (Göransson & Olsson 2015). Föreliggande utvärdering omfattar nitton stationer som har undersökts under trettonårsperioden 2008-2020 varav arton kan klassas enligt Naturvårdsverkets bedömningsgrunder. Dessutom redovisas tidsserier 1993-2020 för två stationer, N5 och N6, som ingår i det årliga samordnade kontrollprogrammet för Hallandskusten. Resterande stationer har undersökts årligen 2008/2012-2020. Provtagningarna har utförts i april-juni. Positioner och djup anges i tabell 1 samt i figur 1. På station 60B förekommer vanligen ålgräs, annars är bottnarna i stort sett vegetationslösa. Vid flertalet provtagningar användes en modifierad Smith-McIntyre bottenhuggare (Smith-McIntyre 1954) med 0,1 m^2 provtagningsyta. På de 5 stationer som undersökts vid ett flertal tillfällen under perioden 2008-2020 togs 5 prover som sållades i 1,0 mm såll. På de stationer som undersökts vid ett tillfälle 2008/12-2020 togs ett prov. Sållresten fixerades i 4 % formaldehydlösning buffrad med natriumtetraborat (borax) och från och med 2016 i 95% etanol med tillsats av 5% glycerol.

Tabell 1. Positioner, djup och tidsperiod för bottenfaunastationer i Kungsbackafjorden som undersökts 2008-2020.

Station	Latitud	Longitud	Djup (m)	Tidsperiod n = antal år
60A	5726730	1203650	4	2008-2020 n=13
60B	5726135	1203602	5	2008-2020 n=13
KU22	5725800	1203400	7	2012-2020 n=9
KU4	5723577	1203206	7	2012-2020 n=9
KU21	5725430	1203200	8	2008-2020 n=13
61A	5725095	1203146	9	1981-2009 n=16
KU6	5722251	1204441	11	2012-2020 n=9
KU20	5724900	1203100	11	2008-2020 n=13
KU7	5721748	1204282	13	2012-2020 n=9
74	5721490	1203670	15	2008-2020 n=13
N5	5724400	1203000	15	2008-2020 n=13
KU17	5723800	1202600	17	2008-2020 n=13
KU16	5722820	1202280	24	2008-2020 n=13
67	5722420	1202290	25	2012-2020 n=9
68	5721980	1201990	25	2012-2020 n=9
N6	5721600	1201750	27	2008-2020 n=13
KU13	5720860	1201200	32	2008-2020 n=13
KU14	5721350	1201550	34	2008-2020 n=13
79	5720270	1200850	35	2016-2020 n=5

2.3.2 Provtagning av sediment

På varje station togs två ytsedimentprov (0-1 cm). De båda proven slogs samman till ett sammelprov och analyserades med avseende på organisk halt och vattenhalt. Sedimentet besiktigades också visuellt vid provtagningarna. Redoxpotentialen i sedimentet uppmättes på stationerna 60A, 60B, 61A, N5 och N6 från sedimentytan och ner till ca 8 centimeters djup.

2.3.3 Analysarbete

I laboratoriet sorterades, räknades och artbestämdes den bottenfaunan under preparermikroskop. Svårbestämda arter detaljgranskades i genomlysningsmikroskop.

Biomassan bestämdes som våtvikt efter torkning mot läskpapper och mollusker vägdes med skal. Alla djur fördes slutligen etiketterade över i 80 % etanol för slutförvaring på Zoologiska Museet i Lund.

Sedimentet analyserades av ALS Scandinavia med avseende på organisk halt som glödförlust, torrsubstans/vattenhalt och metaller enligt Svensk Standard.

2.3.4 Kvalitetssäkring

PAG Miljöundersökningar deltar löpande i interkalibreringar och workshops i ICES/HELCOM: s regi. Metodik och utrustning följer rekommendationer som utarbetats för Svenska västkusten.

All utrustning kontrolleras avseende funktion före varje provtagningsomgång.

Svårbestämda taxa kontrolleras i genomlysningsmikroskop.

Under vägningsproceduren kontrolleras att antalet taxa och antalet individer överensstämmer med laboratorieprotokollen.

Alla primärdata lagras på särskilt lagringsmedia som förvaras i brandsäkert kassaskåp.
Alla djur förs artvis etiketterade till Zoologiska Museet i Lund för slutförvaring. Det senare utgör en kvalitetsgaranti, men innebär också att materialet sparas i en miljöbank så att eventuella fortsatta studier eller analyser kan utföras.

3 Tillståndet för bottenfaunan 2020

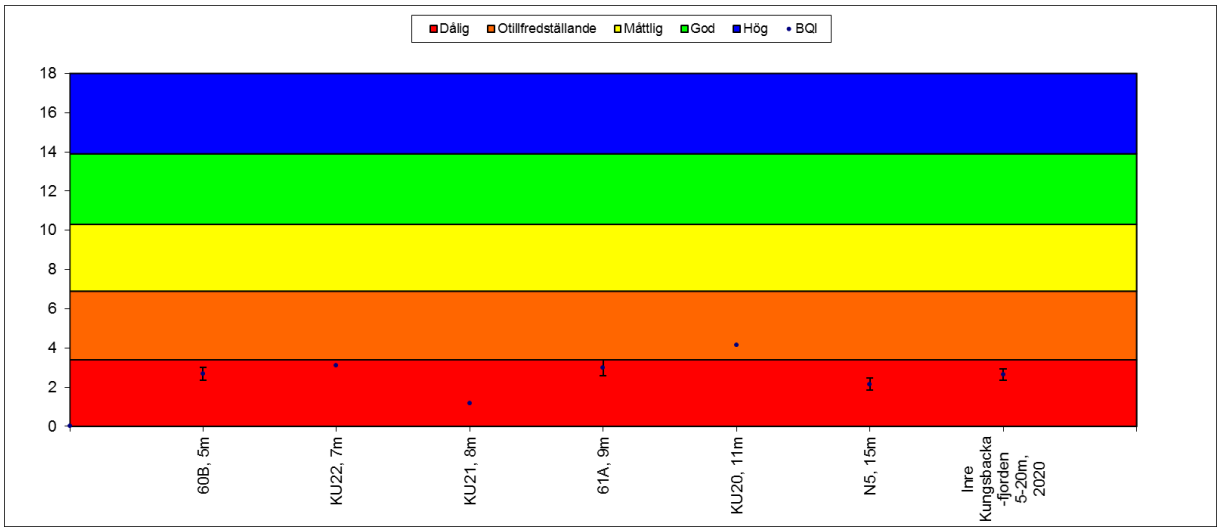
3.1 Benthic Quality Index, BQI

Naturvårdsverkets bedömningsgrunder för bottenfauna har tillämpats för bedömning av status för enskilda vattenförekomster enligt EU:s vattendirektiv (Naturvårdsverket 2007). Dessa omfattar endast stationer från och med 5 meters djup. För att använda bedömningsgrunden behövs data från minst fem stationer från en vattenförekomst. För att illustrera resultatet för Kungsbackafjorden i form av bedömningsgrunderna redovisas statusen för varje station samt för de båda vattenförekomsterna inre och yttre Kungsbackafjorden.

Benthic Quality Index (BQI), som bygger på ES50-värden för olika arter, har beräknats för varje enskilt prov (hugg). Däremot tar BQI ingen hänsyn till biomassan. Resultaten redovisas i figur 2-4, för olika djupintervall, där också olika statusgränser lagts in.

3.1.1 Inre Kungsbackafjorden

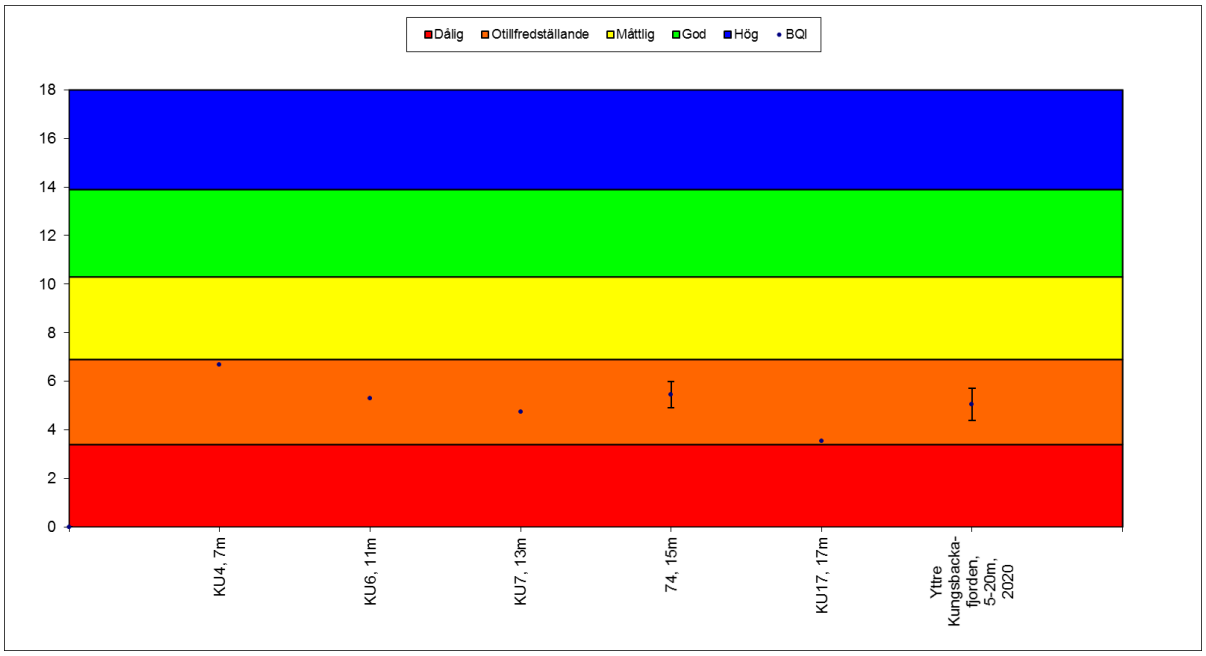
Alla stationerna i inre Kungsbackafjorden utom KU20, uppvisar BQI-värden som kan betecknas som dåliga medan KU20 kan betecknas som otillfredsställande (Figur 2).). Sammanvägt (lägsta konfidensgränsen för de sex stationerna) beräknas statusen till dålig för djupintervallet 5-20 m. Resultatet beror främst på det låga antalet arter på dessa bottnar. Dessutom är BQI-värdena starkt beroende av djupet så att grunda stationer genomgående erhåller lägre värden än djupa stationer. Man bör alltså egentligen inte jämföra stationer på olika djup.



Figur 2. Benthic Quality Index (BQI) för 6 stationer på 5-20 meters djup i inre Kungsbackafjorden samt totalt för hela djupintervallet 5-20 meter i inre Kungsbackafjorden under 2020. Medelvärden och konfidensintervall för fem prov. Olika kvalitetsgränser för 5-20 meters djup inlagda.

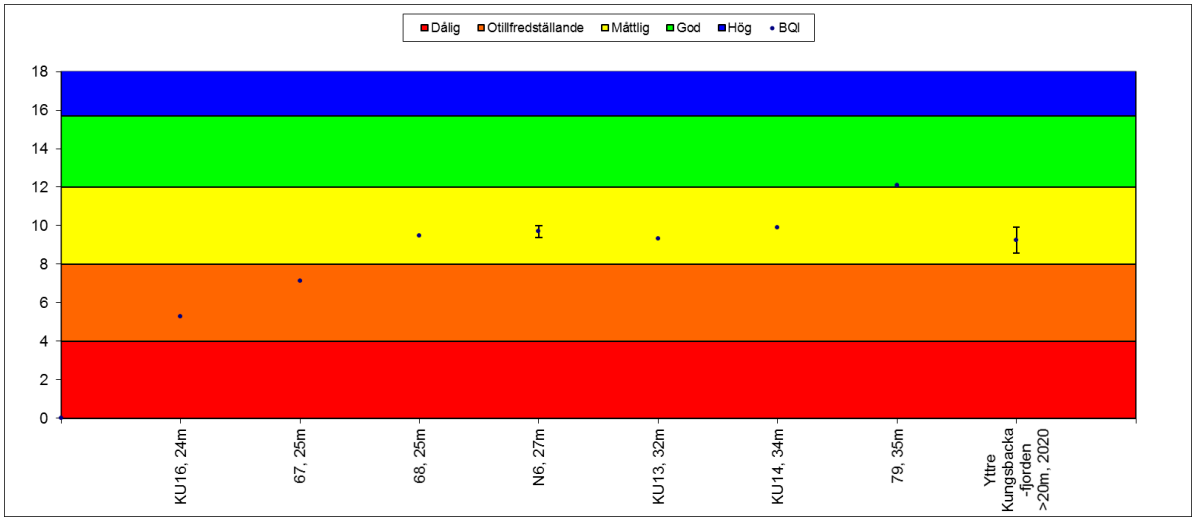
3.1.2 Yttre Kungsbackafjorden

Alla stationerna på 5-20 meters djup i yttre Kungsbackafjorden uppvisar BQI-värden som kan betecknas som otillfredsställande (Figur 3). Sammanvägt beräknas statusen till otillfredsställande för djupintervallet 5-20 m.



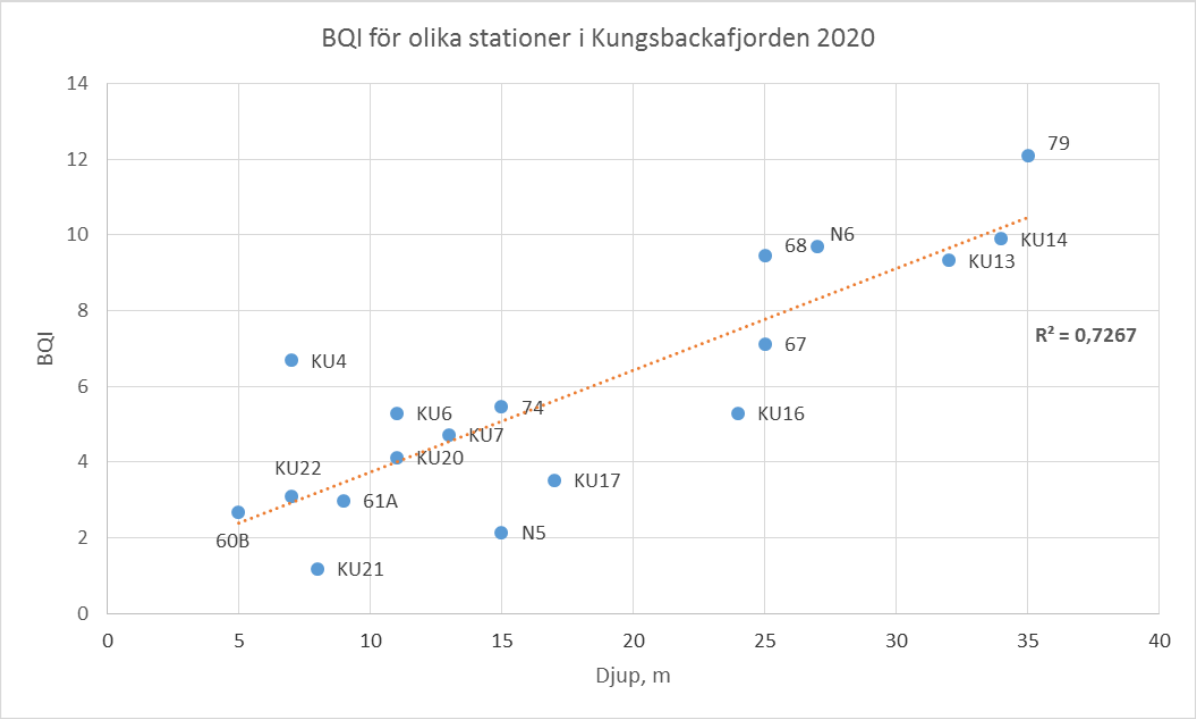
Figur 3. Benthic Quality Index (BQI) för 5 stationer på 5-20 meters djup i yttre Kungsbackafjorden samt totalt för hela djupintervallet 5-20 meter i yttre Kungsbackafjorden under 2020. Medelvärden och konfidensintervall för fem prov. Olika kvalitetsgränser för 5-20 meters djup inlagda.

Av de sju djupaste stationerna på över 20 meters djup i yttre Kungsbackafjorden uppvisar fyra stationer BQI-värden i intervallet för måttlig status, två stationer uppvisar otillfredsställande status och en station uppvisar god status (Figur 4). Sammanvägt beräknas statusen till måttlig för djup över 20 meter. BOI-värdena tenderar att öka med djupet.



Figur 4. Benthic Quality Index (BQI) för 7 stationer på mer än 20 meters djup i yttre Kungsbackafjorden samt totalt för stationer på mer än 20 meters djup i yttre Kungsbackafjorden under 2020. Medelvärden och konfidensintervall för fem prov. Olika kvalitetsgränser för >20 meters djup inlagda.

BQI-värdena I Kungsbackafjorden ökar grovt sett med djupet (Figur 5). En stark korrelation erhålls mellan de normalfördelade variablerna BQI och djup ger r = 0,853 (p<0,001).



Figur 5. Benthic Quality Index (BQI) för 18 stationer på olika djup i Kungsbackafjorden under 2020. En korrelation för normalfördelade variabler (Pearson korrelation) ger r = 0,853, p<0,001. Station 60A är för grund för att klassas.

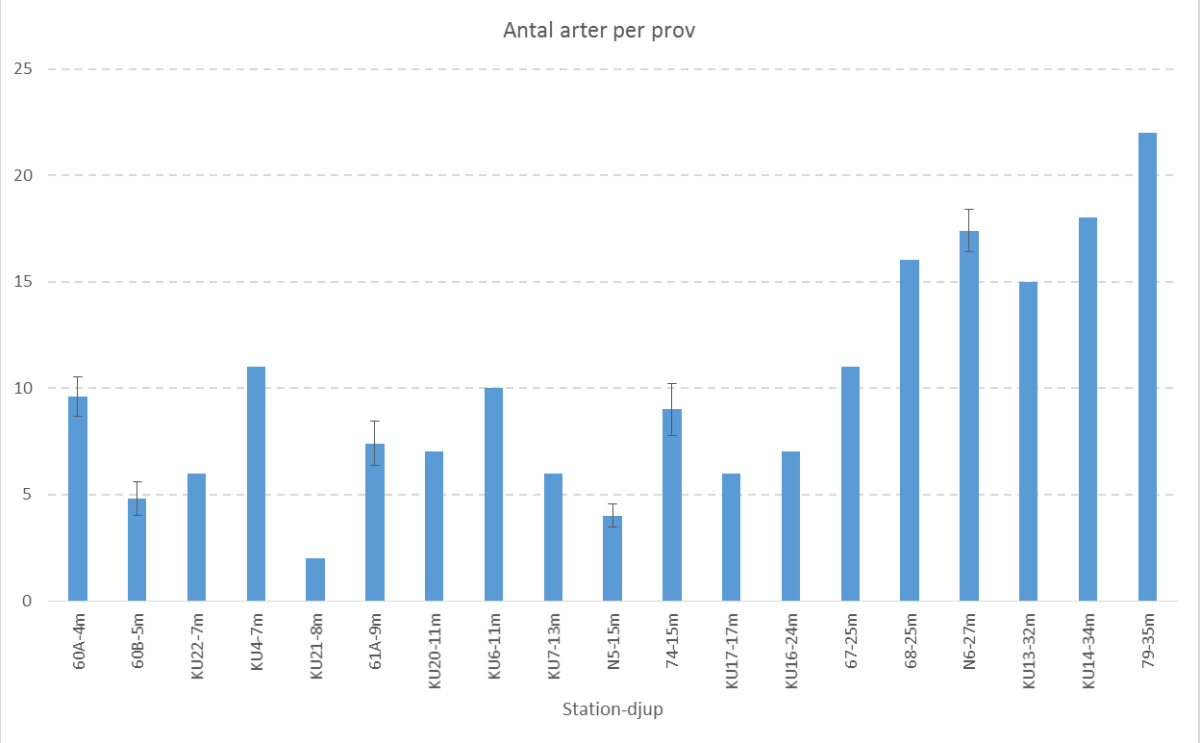
3.2 Antal taxa, Individtäthet och Biomassa

Antal arter, individtäthet och biomassa varierar naturligt med djup, substrat och omgivningsförhållanden som salthalt, temperatur och strömmar.

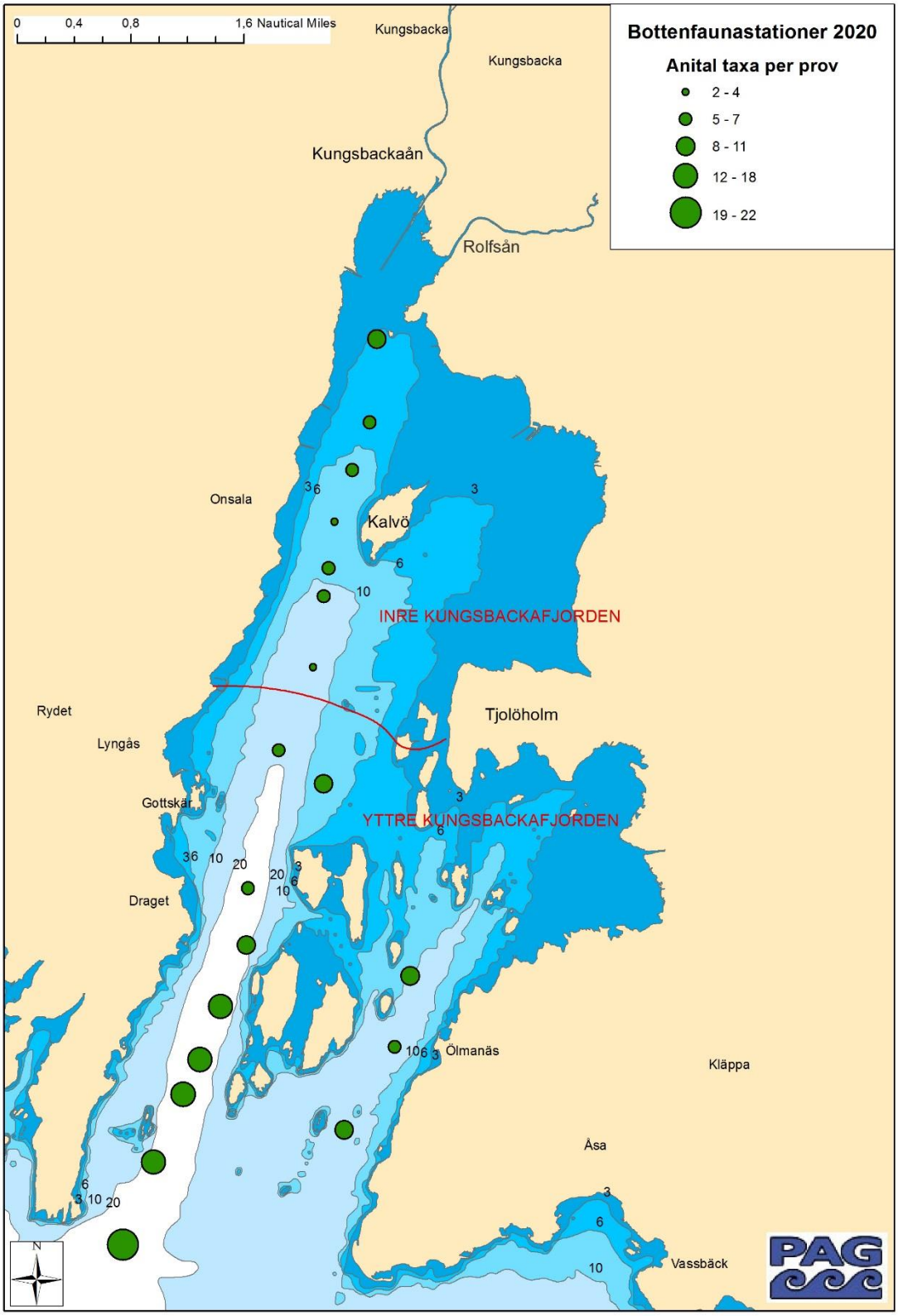
3.2.1 Antal taxa

Antalet taxa (arter och obestämda grupper) är en viktig variabel eftersom den ger ett direkt mått på den biologiska mångfalden och variationen. Antalet arter ökar naturligt i djupled med salthalten. Om arter försvinner kan detta vara ett allvarligt tecken på miljöförändringar. I vissa skeden av en förändringsprocess, t ex vid övergödning, kan antalet arter öka upp till en viss belastningsgräns eller omvänt minska vid reducerad belastning (Pearson & Rosenberg 1978).

Under 2020 varierade antalet taxa per prov mellan 2 och 22 på de olika stationerna (Figur 6 & 7). Det högsta antalet taxa noterades för station 79 längst ut i fjordens mynning. På station KU4, i inre Kungsbackafjorden, fanns det lägsta antalet taxa. Antalet taxa är högst på de djupaste stationerna och ökar kraftigt vid 25 meters djup.



Figur 6. Antalet taxa per prov för 19 stationer i Kungsbackafjorden 2020. Stationerna presenteras med ökande djup från vänster till höger. Som spridningsmått för de stationer där 5 prov togs anges standard error.

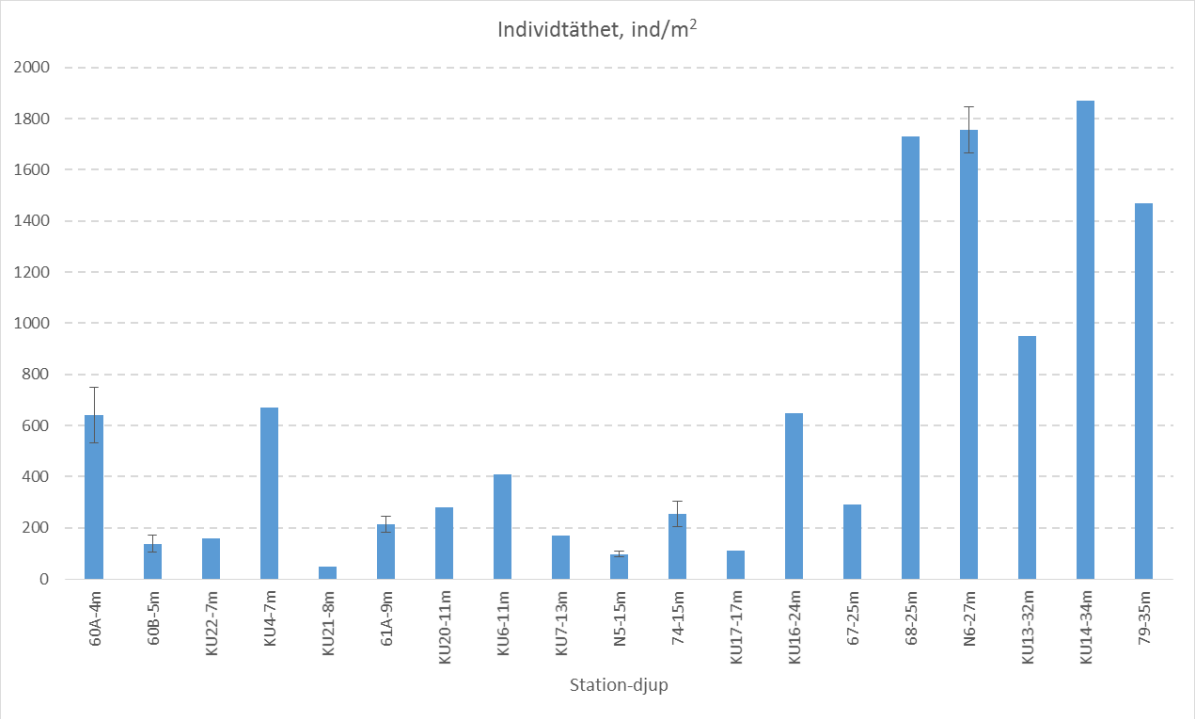


Figur 7. Antalet taxa per prov för 19 stationer i Kungsbackafjorden 2020. Djupkurvorna anger gränserna för 3, 6, 10 och 20 meters djup.

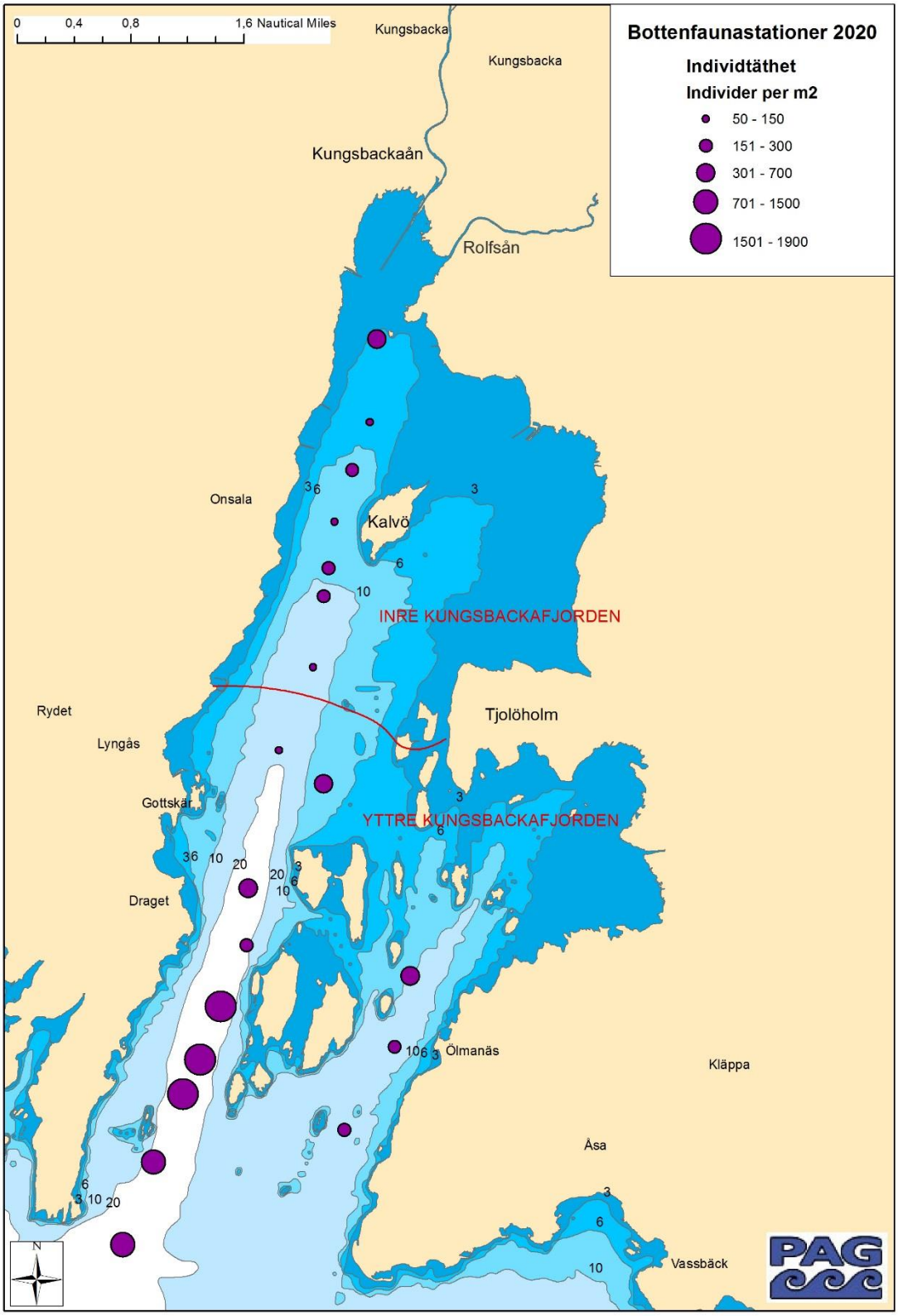
3.2.2 Individtäthet

Individtätheten är mindre jämförbar än antalet arter beroende på större naturliga och tillfälliga svängningar.

Under 2020 varierade individtätheten mellan 50 och 1870 individer/m^2 på de olika stationerna. På station KU14 i yttre delen av fjorden noterades högst individtäthet medan den lägsta individtätheten noterades för station KU21 i inte delen av fjorden (Figur 8 & 9). Individtätheten är högst på de djupaste stationerna och ökar kraftigt vid 25 meters djup.



Figur 8. Individtäthet för 19 stationer i Kungsbackafjorden 2020. Stationerna presenteras med ökande djup från vänster till höger. Som spridningsmått för de stationer där 5 prov togs anges standard error.

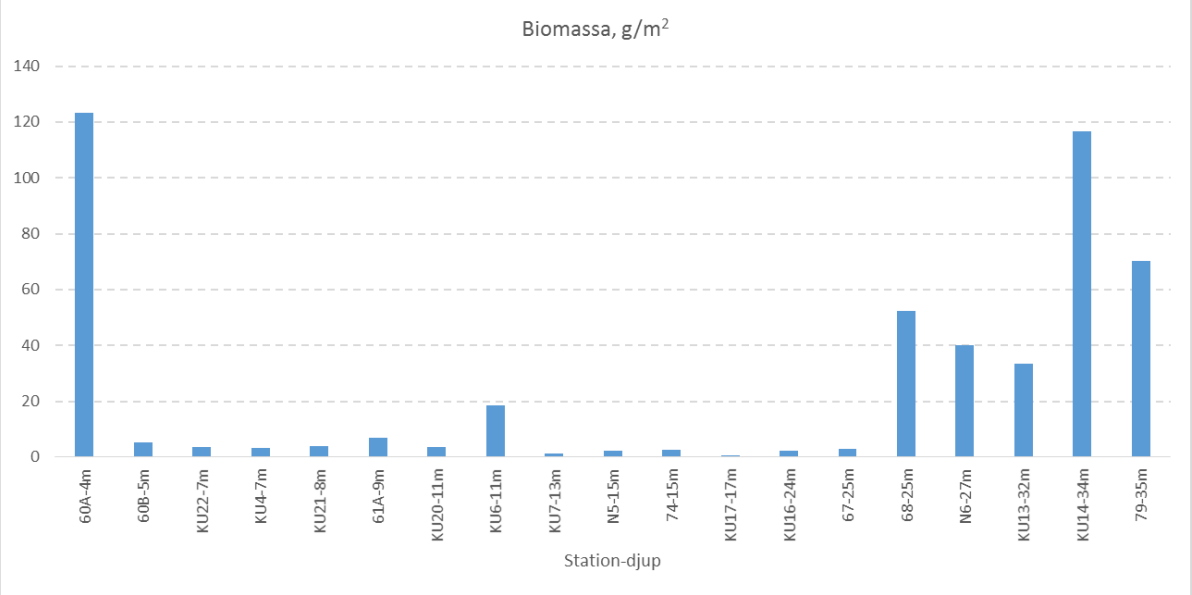


Figur 9. Individtäthet för 19 stationer i Kungsbackafjorden 2020. Djupkurvorna anger gränserna för 3, 6, 10 och 20 meters djup.

3.2.3 Biomassa

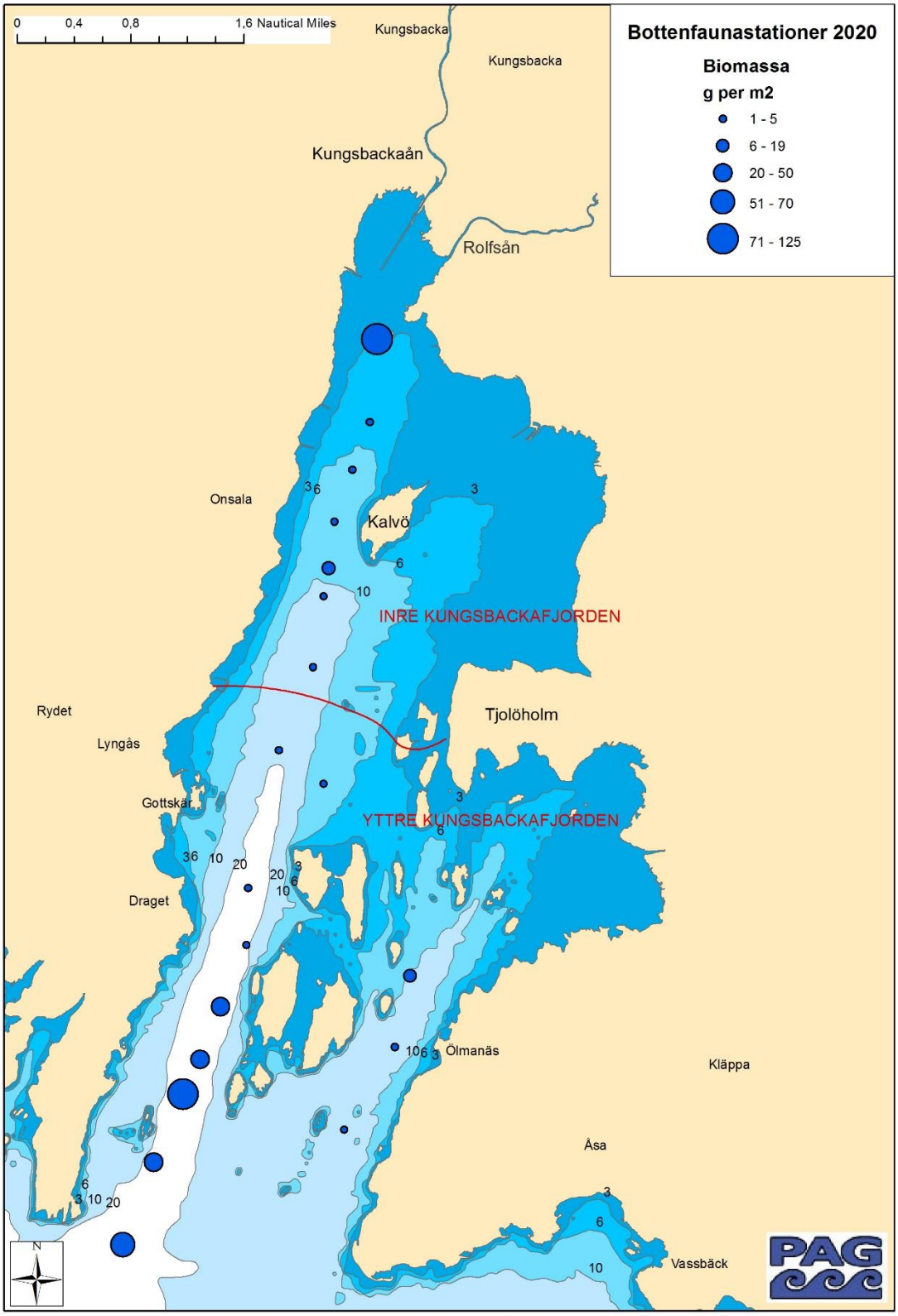
Biomassan är en tillförlitlig variabel och inte så känslig för tillfälliga fluktuationer som individtätheten. Problemet här är istället att slumpvis förekommande tunga djur ofta får stort genomslag. Spridningen mellan olika prov blir därför mycket stor. De två största och mest glest förekommande arterna, islandsmusslan *Arctica islandica* och lyrsjöborren *Brissopsis lyrifera*, har därför inte medräknats vid jämförelsen.

Under 2020 varierade biomassan mellan 0,7 och 123,1 g/m^2 på de olika stationerna. På station 60A längst in i fjorden noterades högst biomassa medan den lägsta biomassan noterades för station KU17 på 17 meters djup i yttre delen av fjorden (Figur 10 & 11). Biomassan är högst på den innersta stationen och på de djupaste stationerna där den ökar kraftigt vid 25 meters djup.



Figur 10. Biomassa för 19 stationer i Kungsbackafjorden 2020. Stationerna presenteras med ökande djup från vänster till höger. Som spridningsmått för de stationer där 5 prov togs anges standard error.

Sammantaget är alltså antalet taxa, individtäthet och biomassa genomgående högst på de djupaste stationerna och ökar kraftigt vid 25 meters djup. Biomassan är dock allra högst på den innersta stationen på 4 meters djup.



Figur 11. Biomassa för 19 stationer i Kungsbackafjorden 2020. Djupkurvorna anger gränserna för 3, 6, 10 och 20 meters djup.

3.3 Sediment

Sedimentens egenskaper ger en bild av hur partiklar ackumuleras eller transporteras samt hur de oxiderade förhållandena varierar. I skilda typer av sediment finns olika slags bottendjur. Redoxpotentialen i sedimentet ger en uppfattning om hur de oxiderade förhållandena i bottnen varierar i djupled. Detta ger ett visst mått på levnadsbetingelserna för bottenfaunan. Bottendjurens aktiviteter påverkar oxidation och nedbrytning av olika substanser på ett positivt sätt.

3.3.1 Sedimentkaraktär

Vid provtagningstillfället noterades visuellt att det översta sedimentet var oxiderat och hade en gråbrun till brungrå färg på mellan 1 och 8 centimeters djup (Tabell 2). Visuellt högst oxiderat skikt, 3-8 centimeter, fanns på de 4 stationerna KU4 och KU6 i inre delen av fjorden samt på stationerna KU14, 74 och 79 i den yttersta delen av fjorden. Visuellt lägst oxiderat skikt, 1-2 centimeter, fanns på de övriga resterande 15 stationerna. Allra lägst skikt noterades för 8 stationer i djupintervallet 7-25m. Delvis nedbrutet organiskt material förekommer rikligt på flertalet av dessa bottnar. Station 74, med grovt substrat, avviker från övriga stationer med finsediment. Detta är en viktig anledning till visuellt bättre oxidation av sedimentet.

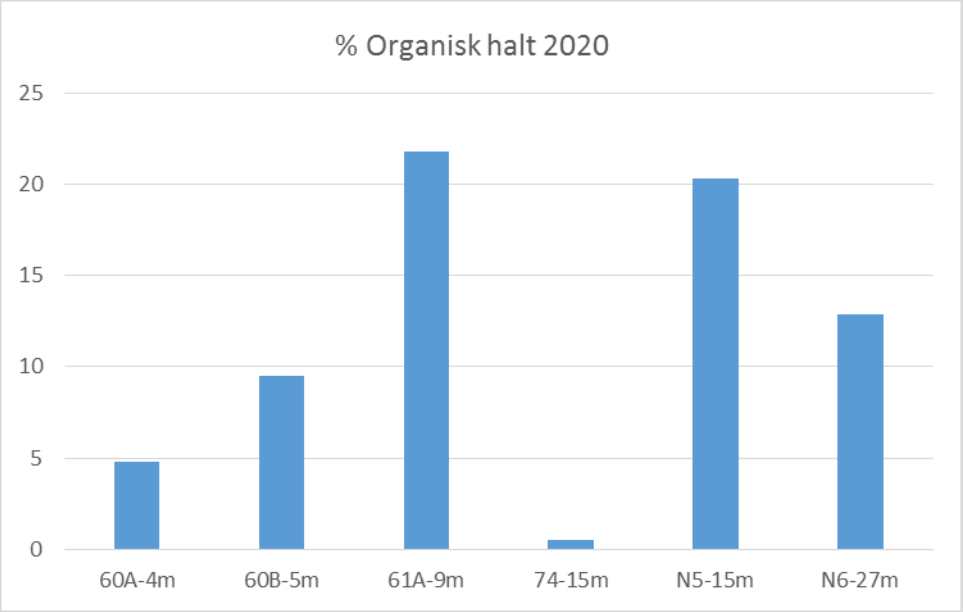
Tabell 2. Sammanställning av sedimentdata för bottenfaunastationer i Kungsbackafjorden 2020. Djup, ytsubstrat och sedimentprofil.

Station	Djup (m)	Ytsubstrat	Sedimentprofil 2020
60A	4	Sandig silt	0-2 brungrå, svart under
60B	5	Sandig silt	0-2 brungrå, svart under
KU22	7	Lerig silt	0-1 gråbrun, mörkgrå under
KU4	7	Silt	0-3 gråbrun, svart under
KU21	8	Lerig silt	0-1 gråbrun, svart under
61A	9	Silt	0-1 brungrå, svart under
KU6	11	Lerig silt	0-3 gråbrun, svart under
KU20	11	Lerig silt	0-1 gråbrun, svart under
KU7	13	Lerig silt	0-2 gråbrun, mörkgrå under
74	15	Finsand, silt	0-8 grå
N5	15	Silt, org mtr	0-1 brungrå, svart under
KU17	17	Sandig silt	0-1 gråbrun, svart under
KU16	24	Lerig silt	0-1 gråbrun, svart under
67	25	Silt	0-1 gråbrun, svart under
68	25	Silt	0-2 gråbrun, mörkgrå under
N6(69)	27	silt	0-5 gråbrun, svart under
KU13	32	Lerig silt	0-2 gråbrun, svart under
KU14	34	Silt	0-3 gråbrun, mörkgrå under
79	35	Silt	0-3 gråbrun, svart under

Nilson och Rosenberg (1999) utförde undersökningar med sedimentprofikamera i Kungsbackafjorden 1999. Bilderna ger en visuell uppfattning om syresättningen av sedimenten. Bäst miljörhållanden noterades i den yttre delen av fjorden medan dåliga förhållanden framförllt förekom i delar av den djupare centrala fjorden. Mycket stor förekomst och utbredning av lösdrivande vegetation observerades på bottnarna. Observationerna från 2020 pekar på försämringar av sedimentes syresättning sedan 1999 eftersom en stor del av bottnarna mellan 7 och 25 meters djup uppvisar dålig syresättning.

3.3.2 Organisk halt

Sedimentens organiska halt varierade avsevärt på de 5 stationerna (Figur 12). Högst halter noterades för de tre djupaste stationerna med glödförluster väl över 10%. Dessa stationer kan karaktäriseras som ackumulationsbottnar med permanent ackumulation av finpartiklar. Station 60B på 5 meters djup når nästan upp till denna nivå och antyder ett mycket brett djupintervall för ackumulationsbottnar i fjorden. Station 60A uppvisar lägre organisk halt vilket pekar på att finmaterialet tidvis kan transporteras bort. Mest avviker station 74 med mycket låg halt. Denna botten kan karakteriseras om erosionsbotten där bottenmaterialet ofta transporteras bort.

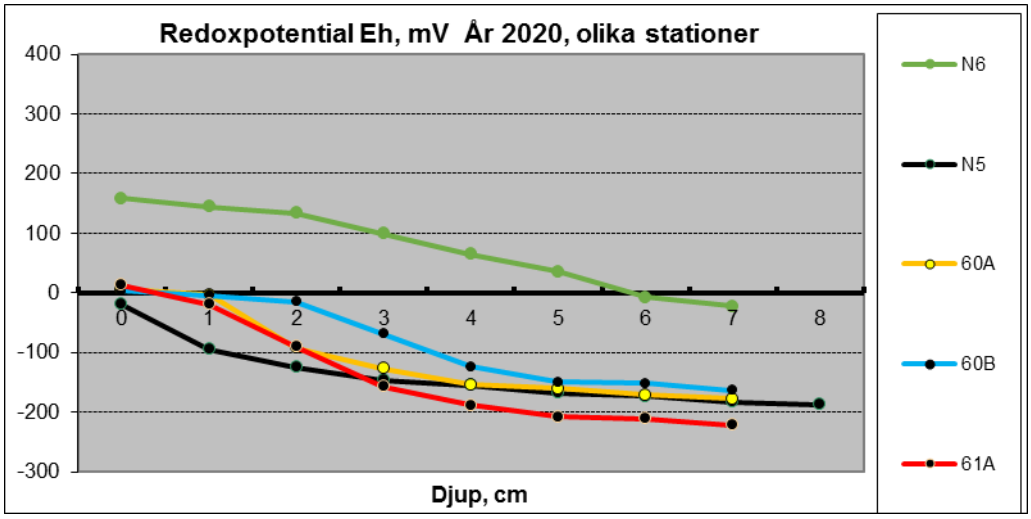


Figur 12. Organisk halt uppmätt som glödförlust i ytsediment (% av torrsubstans) under 2020 på 6 stationer i Kungsbackafjorden. Stationerna presenteras med ökande djup från vänster till höger.

3.3.3 Redoxpotential

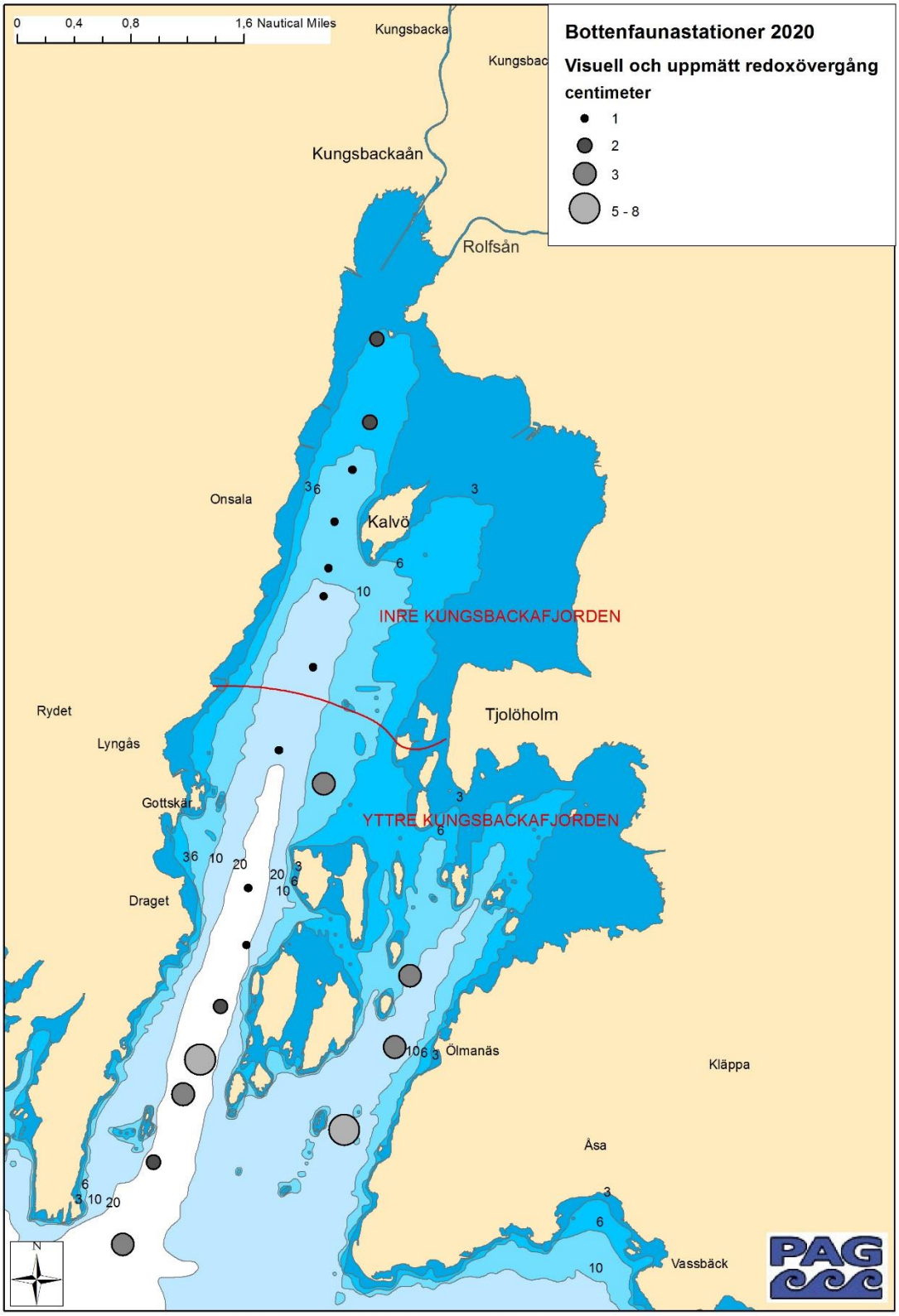
De visuella observationerna ger inget helt säkert mått på de oxiderade förhållandena. Resultat från mätningar av redoxpotential ger däremot en bättre uppfattning, eftersom man då erhåller riktiga mätvärden på de oxiderade förhållandena.

Redoxpotentialen var tämligen lika på de 4 av de 5 stationerna där mätningar sker årligen (Figur 13). Övergången mellan oxiderade och reducerade förhållanden låg här endast på någon centimeters djup i sedimentet. Detta pekar på mycket dålig syresättning av bottnen på stationerna 60A, 60B, 61A och N5 i djupintervallet 4-15m i inre delen av fjorden. För station N6, på 27 meters djup i den yttre fjorden, noteras ca 6 centimeters redoxövergång. Detta pekar på god syresättning av bottnen.



Figur 13. Redoxpotential (Eh, mV) på olika djup i sedimentet på 5 stationer i Kungsbackafjorden under 2020.

I figur 14 presenteras en sammantagen bild av redoxförhållandena i sedimenten 2020 baserad både på visuell och uppmätt redoxövergång. Av figuren framgår att mycket låg redoxövergång (små svarta cirkelytor) fanns från 9 meters djup och ända ut till 25 meters djup i den västra delen av fjorden. På de två innersta stationerna noterades marginellt bättre förhållanden (mörkgrå något större cirkelytor). I fjordens yttre västra del var förhållandena avsevärt bättre (större grå-ljusgrå cirkelytor). Detta gäller även östra delen av fjorden vilket troligen delvis beror på de grövre substraten där. Totalt sett ger dessa resultat bilden av en betydligt större areal av bottnar med lågt miljötillstånd på grund av dålig syresättning i sedimenten än videoundersökningen 2020 (Göransson 2020). Då påträffades svavelvätebakterier *Beggiatoa sp* endast på 18 % av samtliga provytor. Bakteriefläckarna noterades främst i inre och mellersta Kungsbackafjorden i djupintervallet 8-21m på ler/silt och sandbottnar.

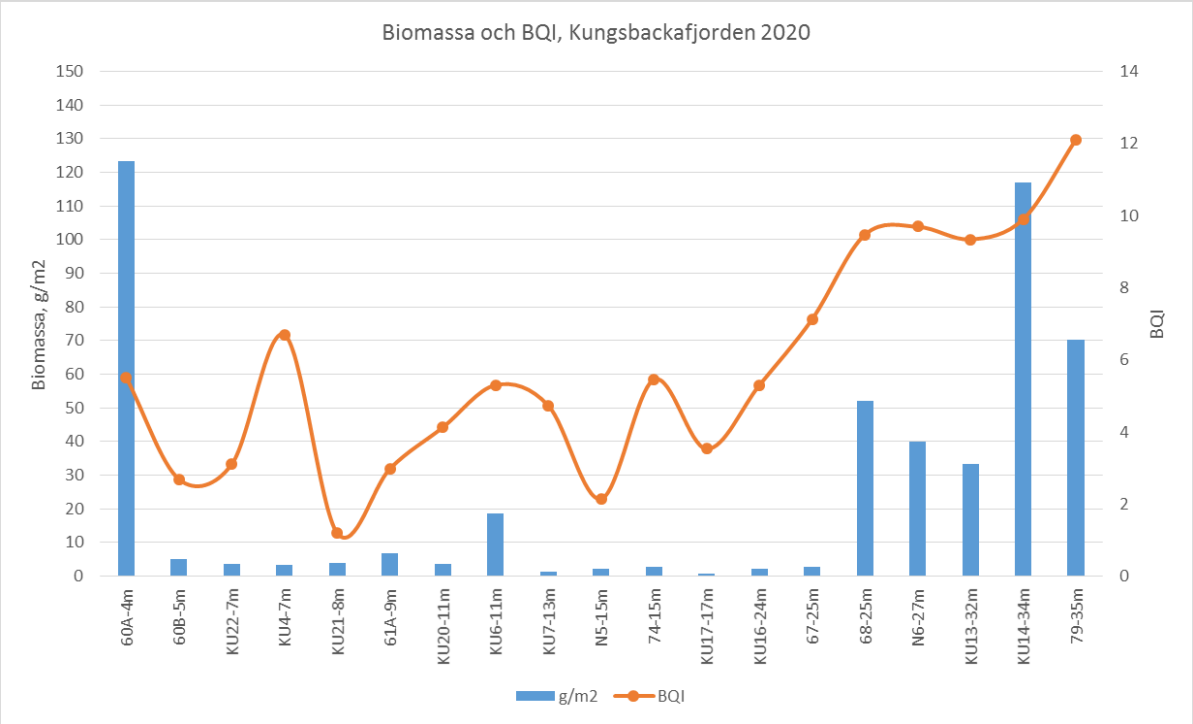


Figur 14. Visuell och uppmätt redoxövergång i sedimentet 2020. På stationerna 60A, 60B, 61A, N5 och N6 uppmättes redoxpotential medan redoxövergången uppskasttades visuellt på övriga stationer. Djupkurvorna anger gränserna för 3, 6, 10 och 20 meters djup.

3.4 Sammanfattande bedömning av tillståndet 2020 för hela Kungsbackafjorden

Benthic Quality Index (BQI) för inre Kungsbackafjorden visar på dålig status, medan statusen är otillfredsställande respektive måttlig för yttre Kungsbackafjorden i djupintervallen 5-20m respektive >20m. Eftersom BQI inte tar hänsyn till biomassan, som är en viktig variabel, bör man inkludera denna i bedömningen (Figur 15).

Man bör ta hänsyn till biomassan är onormalt låg (<10 g/m^2) i nästan hela djupintervallet 5-25m. Vidare visar uppmätta redoxpotentialvärden och visuella bedömningar av sedimenten på mycket dålig syresättning i detta djupintervall. Tillsammans pekar detta på att Kungsbackafjorden är i ett mycket dålig skick från ungefär 5 meters djup och ut till 25 meters djup från den inre fjorden och långt ut i den yttre. Dessa bottnar utgörs till största delen av ackumulationsbottnar och ansamlingarna av organiskt material är så stora att bottenfauna inte kan omsätta det. Detta är en försämring sedan perioden 1969-2009 då endast bottnar på mellandjup ansågs kraftigt belastade (Göransson & Olsson 2015). Ytterligare deposition kommer troligen att försämra förhållandena.



Figur 15. Biomassa (g/m2) och Benthic Quality Index (BQI) för 19 bottenfaunastationer I Kungsbackafjorden. Stationerna har plottas med ökande djup från vänster till höger.

4 UTVECKLINGEN 2008-2020

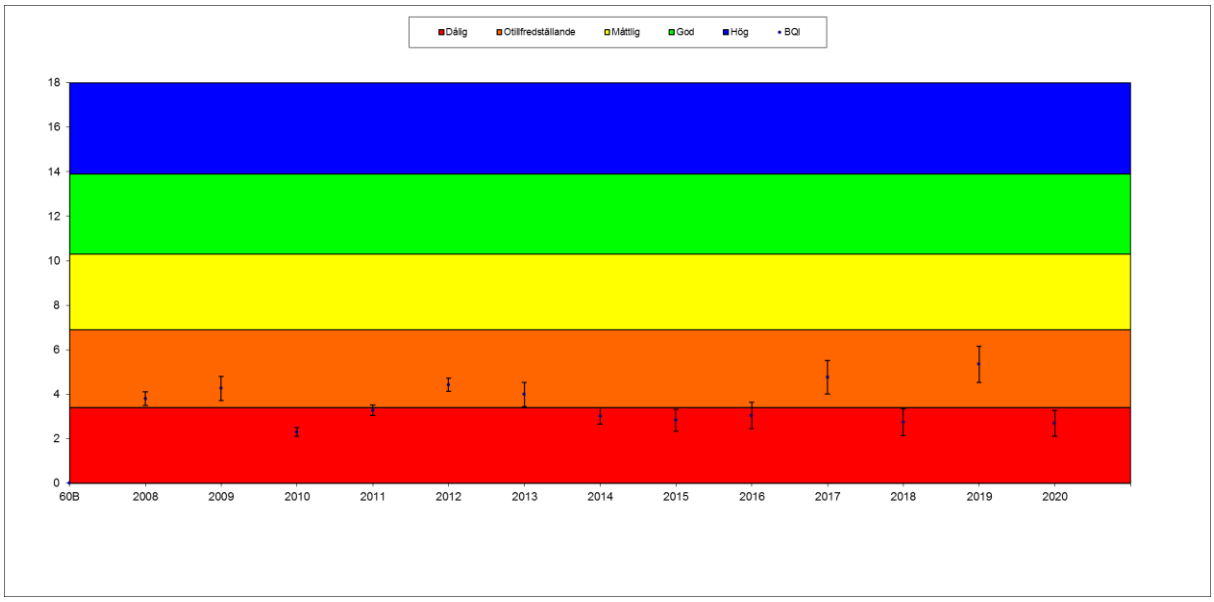
4.1 Trender för Benthic Quality Index, BQI

Utvecklingen i området 2008-2020 och 1993-2020 (N5 och N6) presenteras för Kungsbackafjorden uppdelat i olika djupintervall och för enskilda stationer. Benthic Quality Index, som används för Naturvårdsverkets bedömningsgrunder, har beräknats och sammanställts för hela undersökningsperioden. Trendanalyser (linjär regression) för utvecklingen av BQI för hela perioden har genomförts. BQI kan främst betraktas som ett mått på djurvärldens diversitet (mångformighet) och är starkt beroende av antalet arter men tar inte alls hänsyn till biomassan.

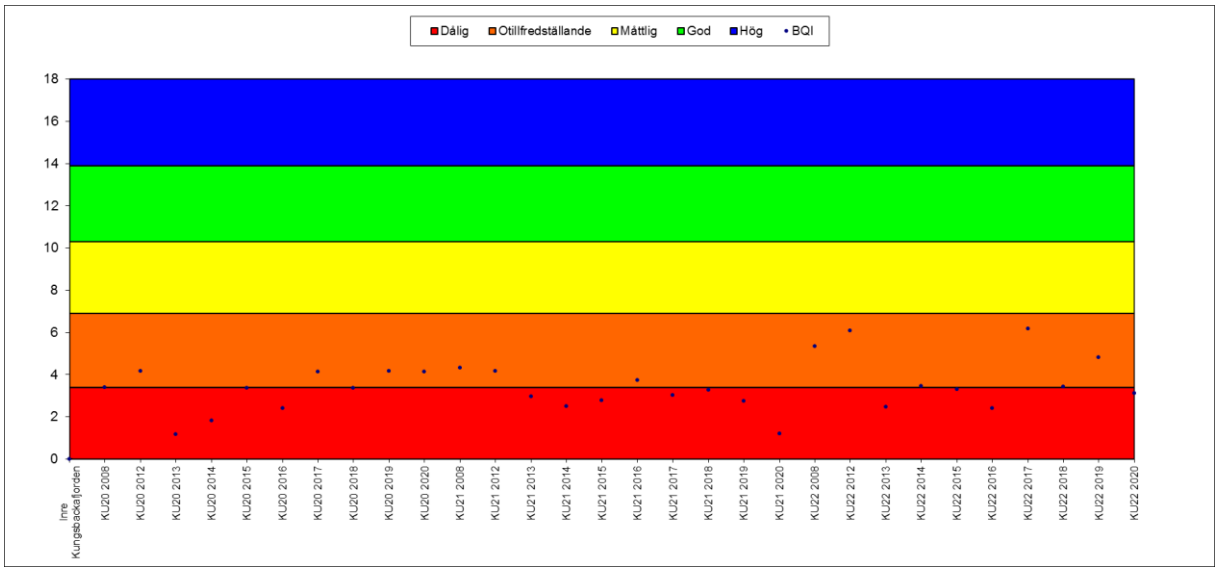
4.1.1 Inre Kungsbackafjorden

Enligt Naturvårdsverkets bedömningsgrunder finns endast ett djupintervall i inre Kungsbackafjorden, 5-20 meter.

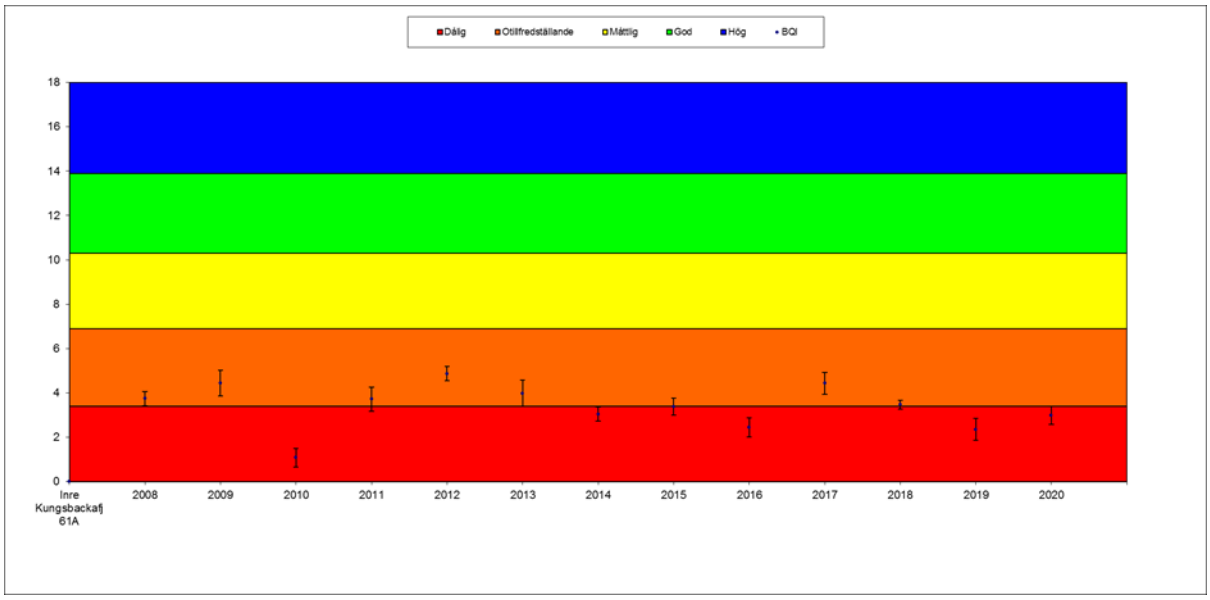
Statusen varierar mellan dålig och otillfredsställande för samtliga stationer i djupintervallet 5-20 m under perioden 2008-2020 (Figur 16-19). Under åren 1996, 1997 och 1999 når station N5 upp till måttlig status. Tidvis relativt höga konfidensintervall pekar på stora variationer i resultat för stationerna. Detta beror troligen på kraftiga variationer i ett flertal omvärldsfaktorer som förekommer över och omkring salthaltssprångskiktet.



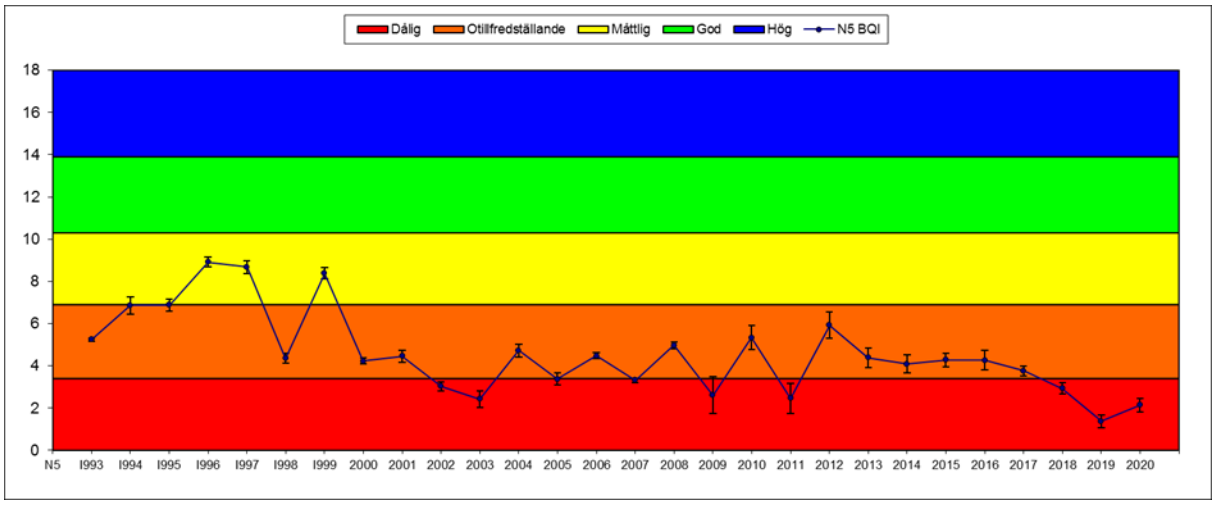
Figur 16. Benthic Quality Index (BQI) 2008-2020 för station 60B i djupintervallet 5-20 m i inre Kungsbackafjorden. Medelvärden och konfidensintervall. Olika kvalitetsgränser för 5-20 meters djup inlagda.



Figur 17. Benthic Quality Index (BQI) 2008-2020 för stationerna KU20, KU21 och KU22 i djupintervallet 5-20 m i inre Kungsbackafjorden. Olika kvalitetsgränser för 5-20 meters djup inlagda.

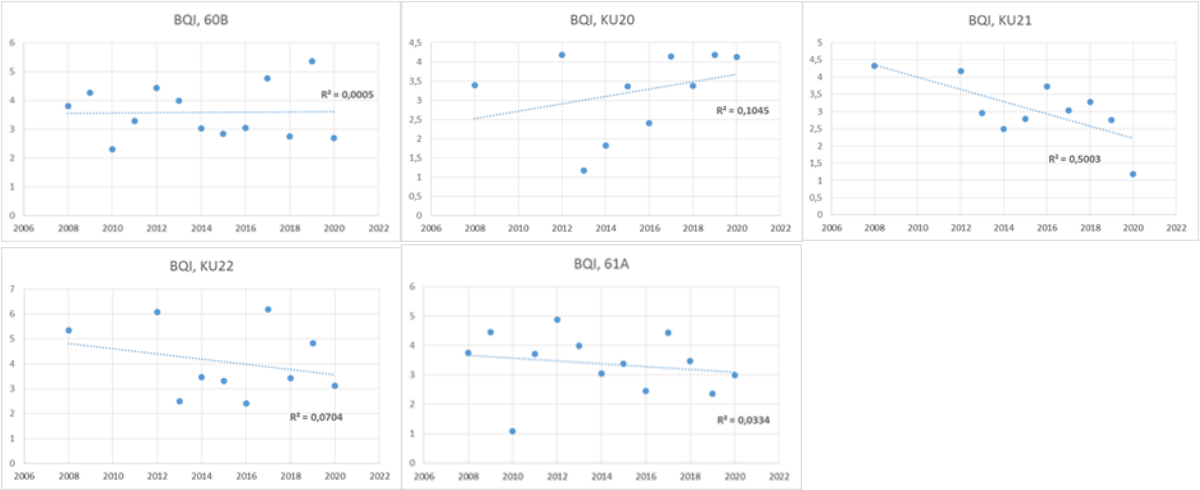


Figur 18. Benthic Quality Index (BQI) 2008-2020 för station 61A i djupintervallet 5-20 m i inre Kungsbackafjorden. Medelvärden och konfidensintervall. Olika kvalitetsgränser för 5-20 meters djup inlagda.



Figur 19. Benthic Quality Index (BQI) 1993-2020 för station N5 i djupintervallet 5-20 m i inre Kungsbackafjorden. Medelvärden och konfidensintervall. Olika kvalitetsgränser för 5-20 meters djup inlagda.

Statusen för perioden 2008-2020 är statistiskt signifikant minskande för station KU21 och statistiskt signifikant minskande för station N5 under perioden 1993-2020 (Figur 20).

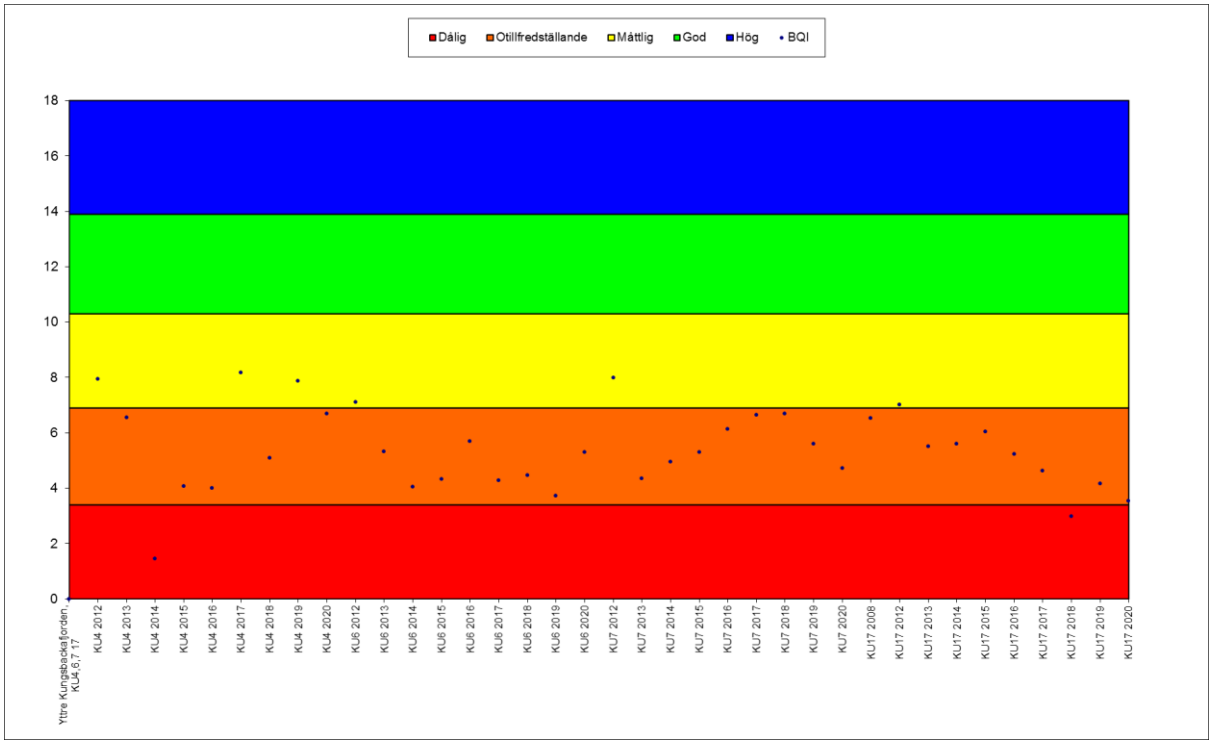


Figur 20. Utvecklingen av Benthic Quality Index (BQI) för stationerna 60B, KU20, KU21, KU22, 61A och N5 i på 5-20 meters djup inre Kungsbackafjorden under perioden 2008-2020 och 1993-2020 (N5). Linjär regression. Trenderna är statistiskt signifikanta för stationerna KU21 ($p=0,022$) och N5 ($p<0,001$). Regressionslinjer och r^2.

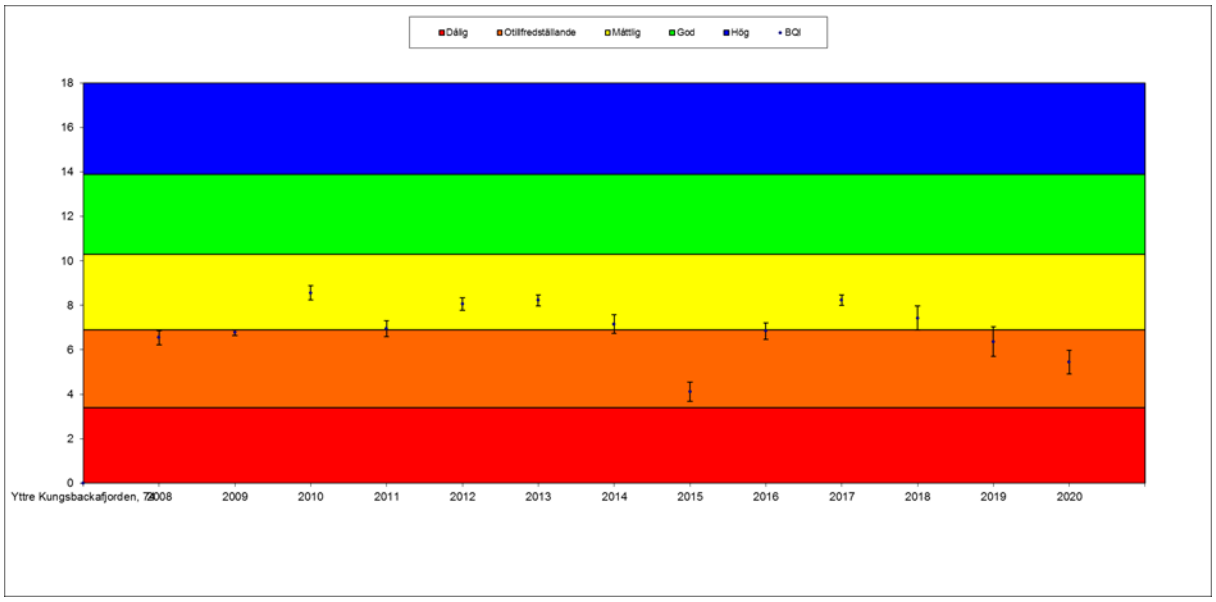
4.1.2 Yttre Kungsbackafjorden

Enligt Naturvårdsverkets bedömningsgrunder finns två djupintervall, 5-20 meter och djupare än 20 meter.

Statusen varierar mellan dålig och måttlig för stationerna i djupintervallet 5-20 m under perioden 2008-2020 (Figur 21 & 22). Tidvis relativt höga konfidensintervall pekar på stora variationer i resultat för stationerna. Detta beror troligen på variationer i ett flertal omvärldsfaktorer som förekommer över och kring salthaltssprångskiktet.

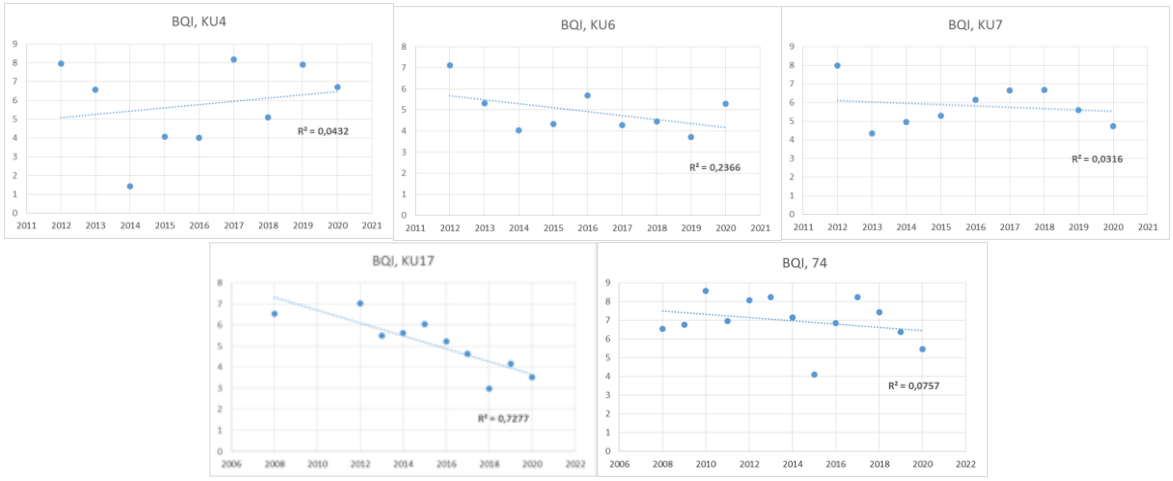


Figur 21. Benthic Quality Index (BQI) 2008-2020 för stationerna KU4, KU6, KU7 och KU17 i djupintervallet 5-20 m i yttre Kungsbackafjorden. Olika kvalitetsgränser för 5-20 meters djup inlagda.



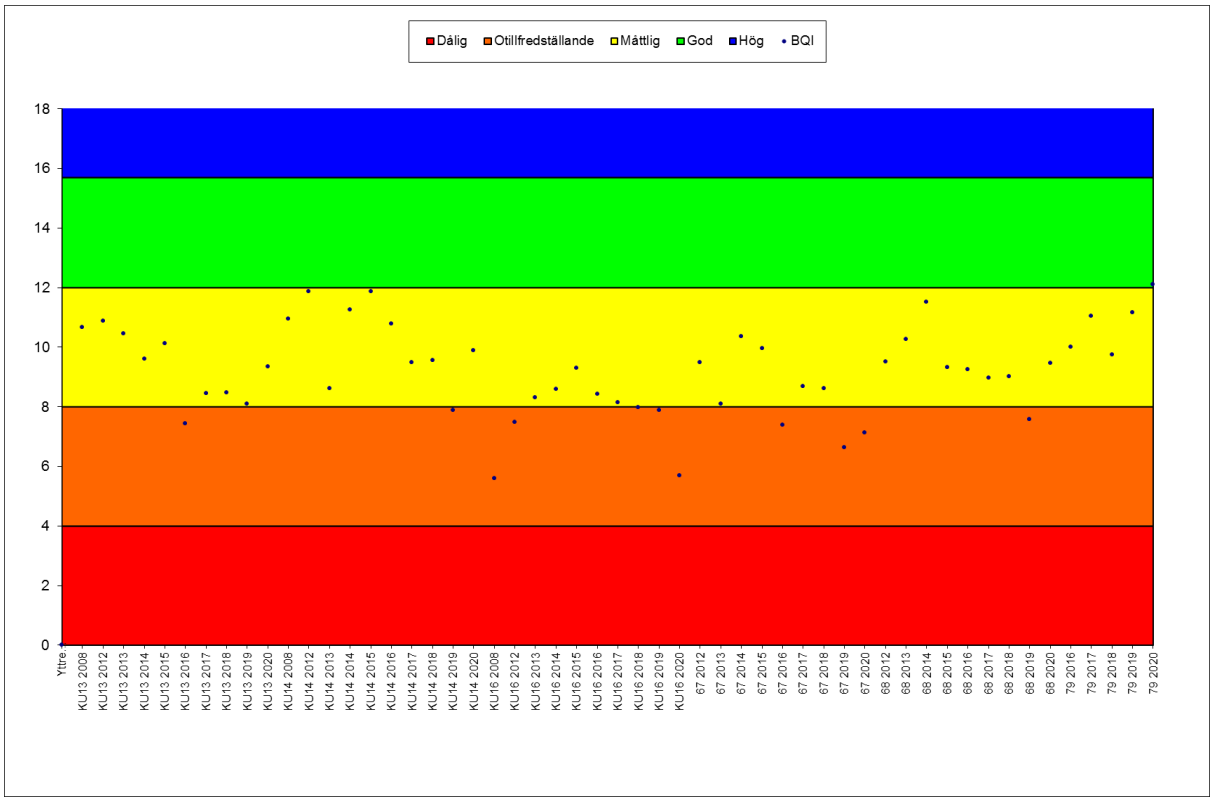
Figur 22. Benthic Quality Index (BQI) 1993-2020 för station 74 i djupintervallet 5-20 m i yttre Kungsbackafjorden. Medelvärden och konfidensintervall. Olika kvalitetsgränser för 5-20 meters djup inlagda.

Statusen för perioden 2008-2020 är statistiskt signifikant minskande för station KU17 (Figur 23).

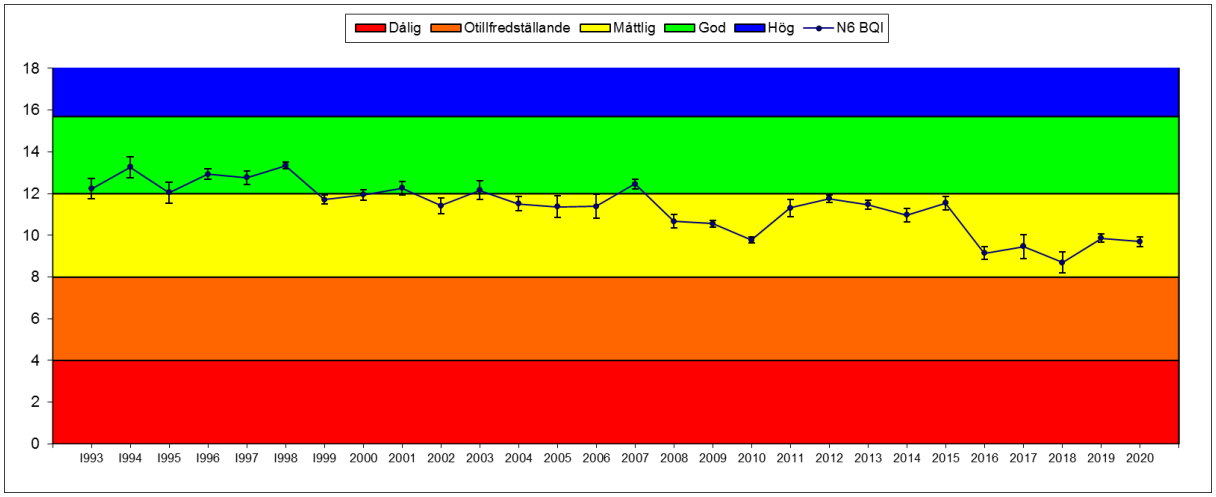


Figur 23. Utvecklingen av Benthic Quality Index (BQI) för stationerna KU4, KU6, KU7, KU17 och 74 i djupintervallet 5-20m i yttre Kungsbackafjorden under perioden 2008-2020. Linjär regression. Trenden är statistiskt signifikant för stationerna KU17 (p=0,002). Regressionslinjer och r^2.

För stationer djupare än 20m i yttre Kungsbackafjorden varierar statusen mellan otillfredsställande och måttlig under perioden 2008-2020 (Figur 24 & 25). Under åren 1994, 1996-1998 och 2007 når station N6 upp till god status. Jämförelsevis lägre konfidensintervall på station N6 speglar de stabilare förhållandena väl under salthaltssprångskiktet.

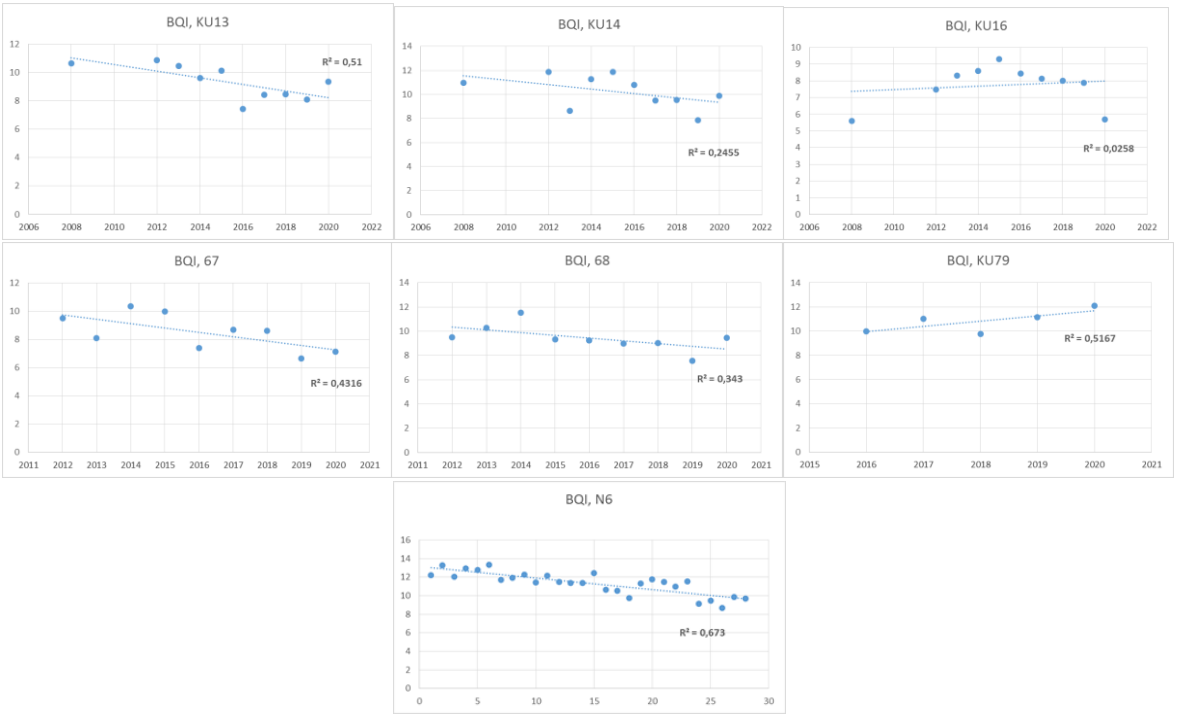


Figur 24. Benthic Quality Index (BQI) 2008-2020 för stationerna KU13, KU14, KU16, 67, 68 och 79 i djupare än 20m i yttre Kungsbackafjorden. Olika kvalitetsgränser för mer än 20 meters djup inlagda.



Figur 25. Benthic Quality Index (BQI) 1993-2020 för station N6 på 27 meters djup i yttre Kungsbackafjorden. Medelvärden och konfidensintervall. Olika kvalitetsgränser för mer än 20 meters djup inlagda.

Statusen för perioden 2008-2020 är statistiskt signifikant minskande för station KU13 och statistiskt signifikant minskande för station N6 under perioden 1993-2020 (Figur 26). Dessutom finns tydligt minskande tendenser för stationerna 67 och KU13.



Figur 26. Utvecklingen av Benthic Quality Index (BQI) för stationerna KU13, KU14, KU16, 67, 68, KU17 och N6 djupare än 20m i yttre Kungsbackafjorden under perioden 2008-2020 och 1993-2020 (N6). Linjär regression. Trenden är statistiskt signifikant för stationerna KU13 (p=0,020) och N6 (p<0,001). Regressionslinjer och r^2.

Sammanfattningsvis finns endast statistiskt signifikant minskande trender för Benthic Quality Index i Kungsbackafjorden. I inre Kungsbackafjorden minskar två stationer av fem i djupintervallet 5-20m. I yttre Kungsbackafjorden minskar en stationer av fem i djupintervaller 5-20m och två av sju stationer som är djupare än 20m. Dessutom finns tydligt minskande tendenser för två djupa stationer. Långtidstrender 1993-2020 för två stationer pekar på bättre förhållanden under 1990-talet än numera både i inre och yttre Kungsbackafjorden.

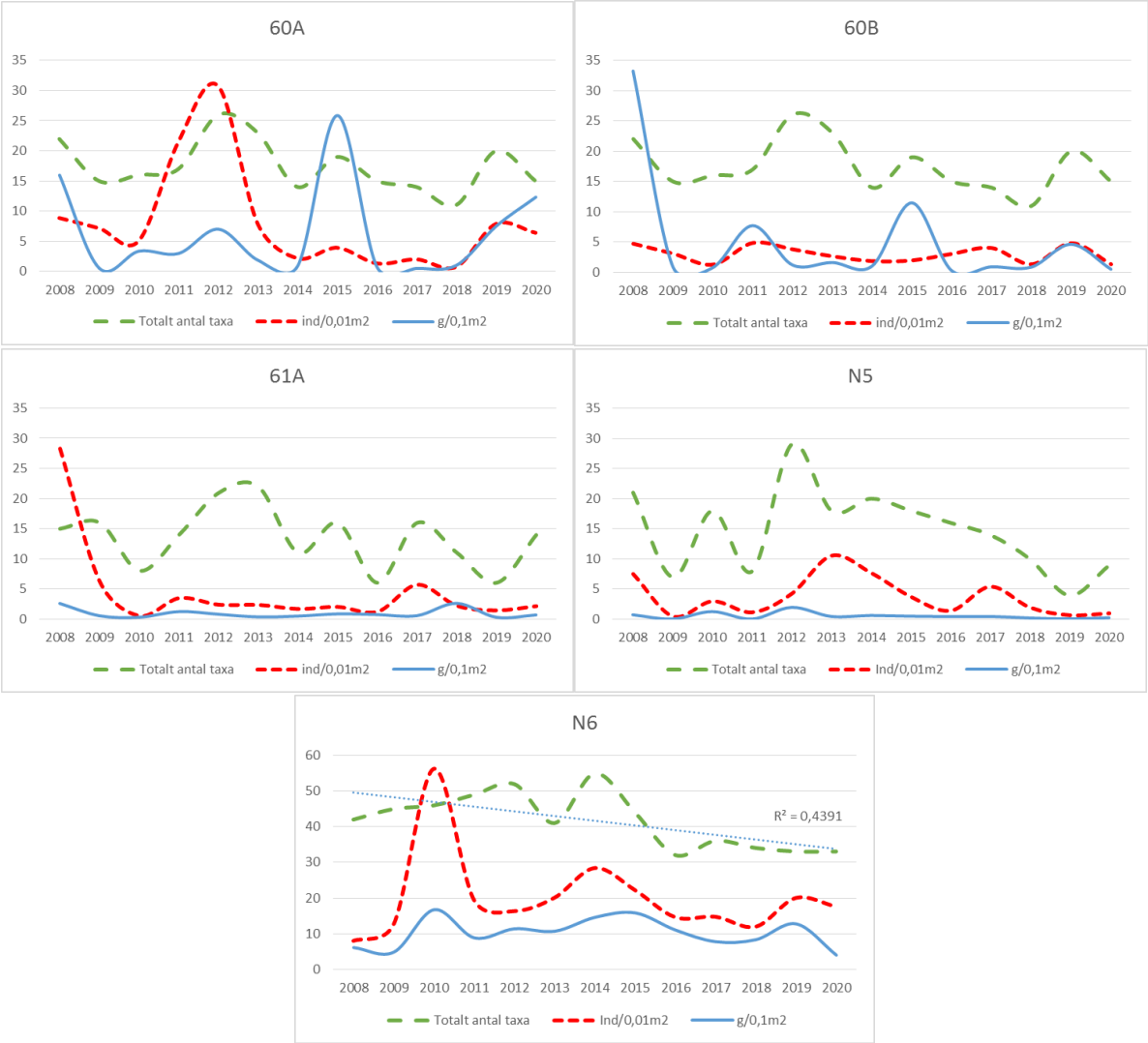
4.2 Trender för antal arter, individtäthet och biomassa, organisk halt och redoxpotential

Utvecklingen i området 2008-2020 presenteras för fem enskilda stationer som provtagits varje år med flera prover för bottenfauna samt organisk halt och redoxpotential i sediment. Trendanalyser (linjär regression) har genomförts för samtliga variabler. Utvecklingen presenteras separat för varje variabel i grafisk form. Presentationen för de enskilda stationerna följer djupet från 5 meter i inre Kungsbackafjorden till 27 meter i den yttre delen av fjorden.

4.2.1 Totalt antal taxa, individtäthet och biomassa

Det finnas en endast en statistiskt signifikant trend för de tre variablerna på de fem stationerna. Det totala antalet taxa minskar på station N6 i den yttre delen av fjorden (Figur 27). Det finns även tendenser till minskningar av det totala antalet taxa på flera andra stationer. För individtätheten finns maxima för tre stationer (60A, 61A och N6) i början av perioden 2008-2020. Dessa toppar kan

betraktas som typiska vid kraftig organisk belastning och består av opportunistiska arter på station 60A, 61A och N6 (*Peringia ulvae, Corbula gibba* och *Scalibregma inflatum*). Biomassan pendlar kraftigt på stationerna 60A och 60B och ligger på en extremt låg nivå under hela perioden på stationerna 61A och N5. Det senare är också tecken på mycket hög organisk belastning.



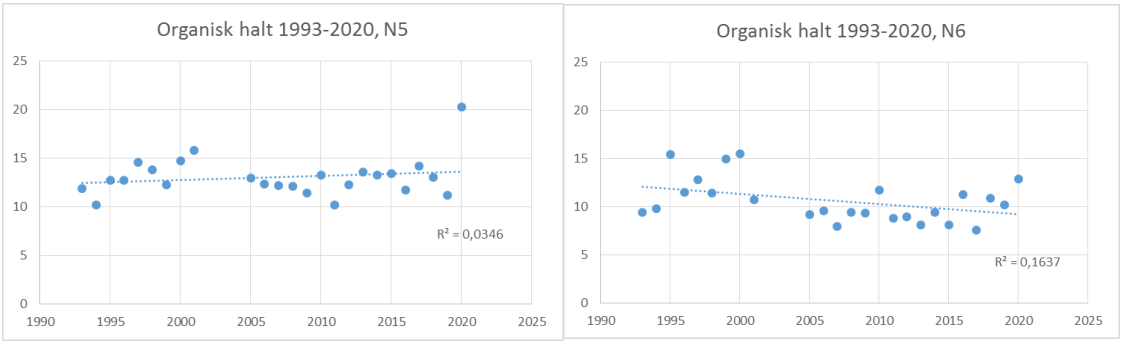
Figur 27. Utvecklingen av totalt antal taxa, individtäthet och biomassa hos bottenfaunan i Kungsbackafjorden under perioden 2008-2020. Årsmedelvärden. Trenden för totalt antal taxa är statistiskt signifikant för station N6 (p=0,014). Linjär regression. Regressionslinjer och r^2.

4.2.2 Organisk halt i sediment

För organisk halt redovisas perioden 2005-2020 och 1993-2020 för att få så långa tidsserier som möjligt.

Det finnas ingen statistiskt signifikant trend för den organiska halten på de fem stationerna för perioden 2005-2020. Halterna variera stort och det finns flera tydliga outlayers. Det finns dock ingen statistiskt signifikant trend även om dessa extremer exkluderas (Figur 28). Långtidstrender 1993-2020 för stationerna N5 och N6 visar däremot på en statistiskt signifikant minskande trend för station N6 i yttre delen av fjorden (Figur 29).

Figur 28. Utvecklingen av organisk halt i sediment i Kungsbackafjorden uppmätt som glödförlust under perioden 2005-2020. Årsmedelvärden. Linjär regression. Regressionslinjer och r^2.

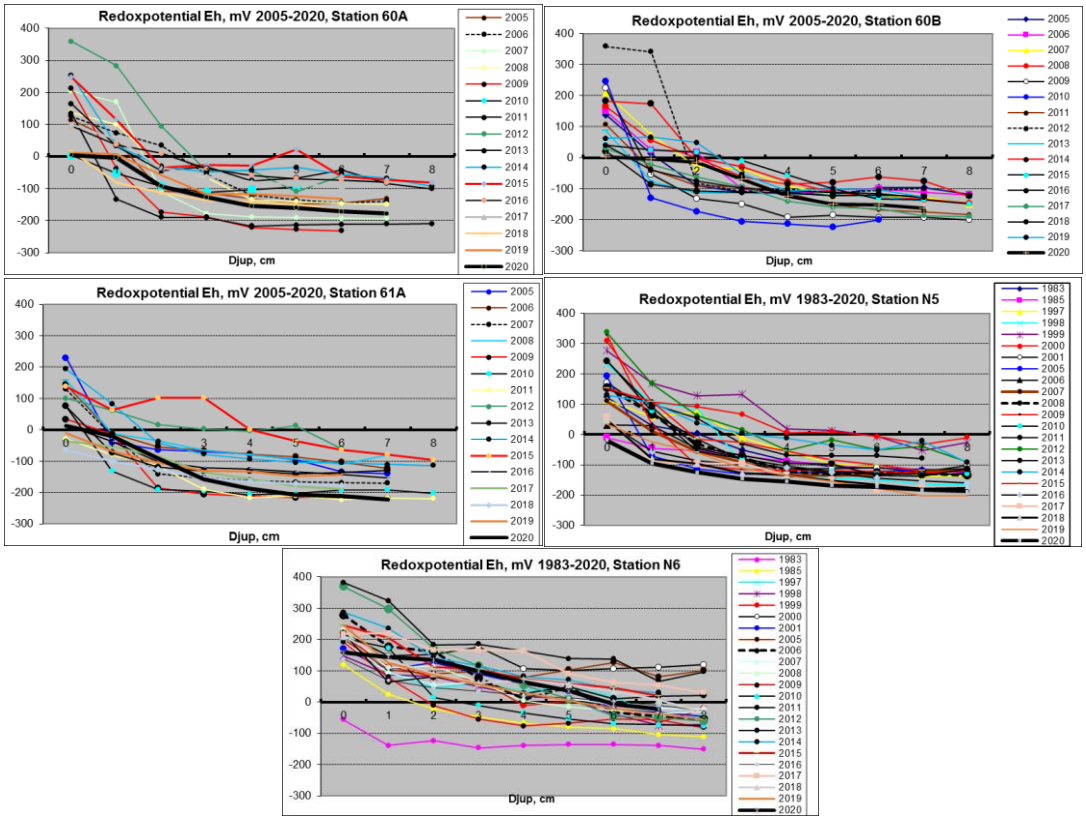


Figur 29. Utvecklingen av organisk halt i sediment i Kungsbackafjorden uppmätt som glödförlust under perioden 1993-2020. Årsmedelvärden. Linjär regression. Regressionslinjer och r^2. Trenden är statistiskt signifikant för station N6 (p=0,045).

4.2.3 Redoxpotential i sediment

För stationerna i inre Kungsbackafjorden, 60A, 60B, 61A och N5 sker övergången mellan oxiderade och reducerade förhållanden på någon till några centimeters djup i sedimentet under perioden 1997-2020. Station 61A är extrem i detta avseende och inte sällan sker denna övergång strax under sedimentytan. De senaste årens resultat pekar på genomgående försämringar.

De oxiderade förhållandena på stationerna N5 i inre- och N6 i -yttre Kungsbackafjorden har under 1990-talet varit avsevärt bättre än vad som framkom av mätningar under 1980-talet (Olsson 1987). Station N5 har dock åter försämrats från och med 2001. För 2020 noteras en redoxövergång på under 1 cm (Figur 30). För station N6 noterades försämringar 2008 och särskilt 2009, då resultaten var jämförbara med vad som framkom under 1980-talet. För 2020 noteras dock en redoxövergång på ca 6 cm vilket är tämligen genomsnittligt.



Figur 30. Redoxpotential (Eh, mV) på olika djup i sedimentet på stationerna 60A, 60B, 61A (2005-2020) samt N5 och N6 (1983, 1985 och 1997-2020) i Kungsbackafjorden.

4.3 Tillbakablick på perioden 1969-2009 och 1930-talet

4.3.1 Perioden 1969-2009

Utvecklingen av bottenfaunan i Kungsbackafjorden 1969-2009 kan tolkas utifrån ett antal aspekter. Kunskapen om åtskilliga stressfaktorer är begränsad. Den mest sannolika förklaringen till noterade, avtagande trender är dålig rekrytering och minskad födotillgång, som ett resultat av ökande temperatur och minskande tillgång på kväve. Temperaturökningarna 1971-2009 uppgick till 2ºC i ytvattnet samt 1, 4ºC i bottenvattnet och låg på en nivå som kan innebära förändringar i det marina ekosystemet. Minskande andel arktisk-boreala arter noterades på två stationer.

Åtskilliga resultat indikerar att den organiska belastningen har minskat inom flertalet av de olika habitaten. Endast bottnar på mellandjup, där bottnen träffas av språngskiktet mellan Kattegatts yt- och -bottenvatten, är undantagna från denna minskning. Belastningen har här med stor sannolikhet dubbelt ursprung, dels i form av algrester, dels i form av finfördelat organiskt material transporterat dit av språngskiktets interna vågor. Nyckelfaktorerna för ekosystemets försämring är här exponeringsgraden och låg syrgashalt. Det kan ta åtskilliga år för faunan på mellandjup att återhämta sig.

I fjordens inre del verkar faunan främst vara påverkad av den lokala belastningen. Ansträngningar som utförts för att minska belastningen under senare år har troligen varit mycket positiva. Den lokala belastningen har en tämligen direkt effekt på individtätheten av opportunistiska arter. Nämnda ansträngningar är naturligtvis också positiva för fjordens yttre delar som dock står under ett mera betydande inflytande från omgivande hav (Göransson & Olsson 2015).

4.3.2 En återblick till 1930-talet

Vid jämförelser med L. A. Jägerskiölds (Jägerskiöld 1970) resultat från provtagningar omkring 1930 när det gäller artsammansättningen i fjorden framkommer både intressanta likheter och skillnader. Eftersom Jägerskiöld framförallt använde bottenskrapa vid sina provtagningar är hans resultat inte direkt jämförbara kvantitativt med resultaten från senare år. Därför tas främst fasta på indikatorarter, rödlistade arter och andra arter som kan misstänkas ha försvunnit eller tillkommit sedan 1930-talet.

Man kan gruppera Jägerskiölds stationer i flera djupintervall och bottentyper. Jägerskiölds station 260 på 3,5 meters djup motsvarar i grova drag de nuvarande stationerna 60A och 60B. Jägerskiöld anger bottnen som lera med ålgräs 1928. Dagens observationer pekar på sandig silt med ålgräs på station 60A, alltså likartade förhållanden som på 1930-talet. Bland mera intressanta arter fick Jägerskiöld den rödlistade musslan *Mya truncata* i sitt bottenskrap men däremot inte havsborstmasken *Capitella capitata*, som anses som en i det närmaste universell föroreningsindikator. Under perioden 1974-2009 har *Mya truncata* påträffats vissa år, dock inte sedan 2002. *C capitata* har däremot förekommit tämligen frekvent men minskat något på senare år. Mot bakgrund av detta, och med reservation för skillnader i provtagningsmetodik, kan en viss försämring ha inträtt av denna botten, främst med tanke på väsentlig förekomst av en välkänd föroreningsindikator och svag förekomst av en rödlistad art.

Jägerskiölds station 261 på 9,5 meters djup motsvarar i grova drag den nuvarande stationen 61A. Jägerskiöld anger bottnen som ganska styv lera med ålgräs 1928. Dagens observationer anger silt men helt utan ålgräs, alltså en ett något lösare sediment utan vegetation. Jägerskiöld redovisar inte havsborstmasken *Capitella capitata* från sitt prov, ej heller någon rödlistad art. Under perioden 1981-2020 har däremot *C capitata* förekommit relativt frekvent men har minskat något på senare år. Mot bakgrund av detta har en kraftig försämring inträtt av denna botten, främst med tanke på viss förekomst av en välkänd föroreningsindikator och avsaknad av ålgräs. Området kan idag bedömas som ett ackumulationsområde för finfördelat organiskt material.

För Jägerskiölds stationer 271, 272 och 273 i djupintervallet 9-13 meter anges bottnen bestå av sand och sten. Här fanns havsborstmasken och föroreningsindikatorn *Capitella capitata* på den grundaste stationen 1928. Vidare fanns musslorna *Arctica islandica*, *Macoma calcarea* och *Mya truncata*. KU6 och KU7, i samma djupintervall har undersökts 2007 och 2012-2020. Ett litet exemplar av *Arctica islandica* påträffades 2013 och ett exemplar av *Macoma calcarea* påträffades 2016 på station KU6. De andra arterna har inte återfunnits. Att föroreningsindikatorn *Capitella capitata* inte påträffades i nutida prover bör anses som en förbättring medan avsaknaden av flera andra arter är oroande.

Jägerskiölds station 274 på 14-14,5 meters djup motsvarar i grova drag den nuvarande station 74. Jägerskiöld anger bottnen som hård, troligen blockbotten. Dagens observationer pekar på helt andra förhållanden, finsand och silt. Jägerskiöld fick islandsmusslan *Arctica islandica* i sitt prov 1928. Under perioden 1981-2020 har *Arctica islandica* förekommit vid flera tillfällen. Inga slutsatser kan alltså dras avseende skillnader mellan 1930-talet. Proverna har troligen tagits på olika ställen eller så har bottnen förändrats genom sedimenttransport.

Jägerskiölds station 263 på 17 meters djup motsvarar i grova drag den nuvarande stationen N5. Jägerskiöld anger bottnen som gyttja (mud) med lukt av svavelväte från sina två provtagningar 1929 och 1937. Dagens observationer är i stort sett desamma. Bland mera intressanta arter fick Jägerskiöld de rödlistade musslorna *Mya truncata* och *Musculus niger* i sina bottenskrap men däremot inte föroreningsindikatorn *Capitella capitata*. Under perioden 1974-2009 har *Mya truncata* påträffats 3 gånger vid 36 provtagningar. *Musculus niger* har inte alls påträffats vid dessa tillfällen. *Capitella capitata* har däremot förekommit under flertalet år. Mot bakgrund av ovanstående, och med reservation för skillnader i provtagningsmetodik, kan en viss försämring ha inträtt, främst med tanke på väsentlig förekomst av en välkänd föroreningsindikator numera och mycket svag eller utebliven förekomst av två rödlistade arter.

För Jägerskiölds stationer 267 och 268 i djupintervallet 23-27 meter anges bottnen bestå av lera. Här fanns sjöpennan *Virgularia mirabilis*, borrsnäckan *Euspira pallida*, musslorna *Nuculana pernula*, *Arctica islandica*, *Musculus niger* och *Mya truncata* samt sjöstjärnan *Leptasterias danica*. 2007 besöktes 2 stationer i samma djupintervall, KU10 och KU11. Dessutom besöktes stationerna KU16, 67 och 68 årligen under perioden 2008-2020. Det är därför mycket anmärkningsvärt att inte någon av de uppräknade arterna Jägerskiöld hade i sina prover återfanns under 2000-talet.

Jägerskiölds station 269 på 29-30 meters djup motsvarar i grova drag den nuvarande N6. Jägerskiöld anger bottnen som mjuk lera med tunt svavelvätepåverkat lager vid sina 5 provtagningstillfällen 1928, 1929 och 1937. Dagens observationer pekar på ungefär likartade bottenförhållanden men utan väsentlig påverkan av svavelväte. Bland mera intressanta arter noterar Jägerskiöld den rödlistade snäckan *Euspira pallida*. Dessutom fick han snäckan *Turritella*

communis och musslorna *Nuculana minuta* och *Nuculana pernula* i sina prover. Samtliga är ovanliga i området numera och *Euspira pallida* har överhuvudtaget inte påträffats 1969-2020. *Nuculana pernula* observerades senast 2004. De båda senare är typiska Arktiskt-Boreala (nordliga) arter varför man kan misstänka att klimatförändringar spelat in när det gäller avsaknaden av dessa arter. Föroreningsindikatorn *Capitella capitata* fanns däremot också i Jägerskiölds prover.

Olsson (1969) kunde på grundval av uppgifter från Jägerskiölds kvantitativa bottenfaunaprover erhållna från Naturhistoriska museet i Göteborg konstatera att de båda ormstjärnorna *Amphiura filiformis* och *A. chiajei* hade ökat signifikant i förekomst under perioden 1937 – 1964. Detta kan bero på ökad näringstillförsel till de djupa bottnarna fram till 1960-talet. Föroreningsindikatorn *Capitella capitata* har förekommit vid 10 tillfällen, med tydlig tonvikt på början av perioden. Mot bakgrund av ovanstående, och med reservation för skillnader i provtagningsmetodik, kan en viss förändring ha inträtt, främst med tanke på utebliven förekomst av rödlistade arter och svag förekomst av flera karaktärsarter som påträffades omkring 1930. Allt mindre förekomst av föroreningsindikatorn *Capitella capitata* i kombination med liten förekomst av svavelväte i botten tyder dock på viss förbättring av de oxiderade förhållandena under de senaste åren. Bortfallet av nordliga arter är dock ytterst oroande.

Observationerna från perioden 1969-2009 styrker i flera fall misstankarna om att förändringar av faunan har ägt rum sedan Jägerskiölds tid. Dagens observationer pekar på fler observationer av föroreningsindikatorn *Capitella capitata* på de grundaste och mellandjupa bottnarna men färre på den djupaste bottnen och antyder ökad organisk belastning och ökad förekomst av syrebrist. Musslorna *Mya truncata* och *Nuculana pernula* och snäckan *Euspira pallida* verkar ha minskat eller försvunnit.

Sammanfattningsvis tyder jämförelserna med resultaten från omkring 1930 på att bottenförhållandena i Kungsbackafjorden inte förändrats storskaligt, men att det finns indikationer på ökad organisk belastning och sedimentation sedan dess. Redan omkring 1930 fanns indikationer på tämligen kraftig organisk belastning på några bottnar i mellersta och yttre Kungsbackafjorden. Detta pekar på att fjorden är känslig för eutrofiering eftersom organiskt material verkar ackumuleras trots god vattenomsättning. Svag förekomst eller frånvaro av rödlistade arter och svag förekomst av en del karaktärsarter antyder lägre biologisk variation numera och är oroande. Detta stämmer väl överens med observationer från Öresund (Göransson 2002 & 2004) och kan troligen knytas till klimatförändringar med ökad temperatur (Göransson 2017).

På 1930-talet fann L A Jägerskiöld borrsnäckan *Euspira pallida* i yttre Kungsbackafjorden. Denna snäcka har däremot inte påträffats vid upprepade provtagningar under perioden 1969-2020. Musslorna *Mya truncata* och *Nuculana pernula* påträffades senast 2002 respektive 2004. Samtliga har en starkt nordlig utbredning. Foto: Peter Göransson ©

4.4 Sammanfattning av den långsiktiga utvecklingen

4.4.1 Sammanställning av resultat 2008-2020

I tabell 3 presenteras en sammanställning av resultaten för perioden 2008-2020. BQI-värden har varierat mellan dålig och otillfredsställande status för stationerna 60B, 61A och N5 på mellan 5 och 15 meters djup i inre Kungsbackafjorden. Den 27 meter djupa station N6 i fjordens yttre del uppvisar måttlig status under hela perioden.

Det totala antalet taxa varierar mellan 15 och 20 på stationerna 60A och 60B medan relativt låga antal noteras för stationerna 61A och N5. På station N6 minskar antalet taxa statistiskt signifikant under perioden. Individtätheten uppvisar opportunistiska toppar i början av perioden på stationerna 60A, 61A och N6. Låga individtätheter noteras för alla stationer utom N6 i yttre fjorden.

Biomassan varierar kraftigt under perioden på de båda grundaste stationerna och är extremt låg på stationerna 61A och N5. De organiska halterna pekar på ackumulationsförhållanden på alla stationer utom 60A, den grundaste. Redoxövergångarna är mycket låga på alla stationer utom N6 i fjordens yttre del.

Totalt sett bör man anse att förhållandena är dåliga utom i fjordens yttersta del. Det verkar dock som förändringarna går i rätt riktning i fjordens innersta och yttre del med tanke på att inslaget av opportunister har minskat. Stationerna 60B, 61A och N5 har däremot en onaturligt låg biomassa och mycket låg redoxövergång i sedimentet.

Tabell 3. Resultat och förändringsmönster för 5 bottenfaunastationer i Kungsbackafjorden under perioden 2008-2020. BQI: Gul=Måttlig status, Orange=Otillfredsställande, Röd=Dålig status. Anmärkningsvärt låga värden för övriga variabler är rödmarkerade.

Station	Djup m	BQI	Totalt antal taxa	Individtäthet	Biomassa	Organisk halt % Glödförlust	Redox-övergång cm
60A	4	Klassas ej	15-20	Opportunistisk peak i början av perioden, låg	Kraftig variation	<5	1-3
60B	5		15-20	Låg	Kraftig variation	>10	1-2
61A	9		5-15	Opportunistisk peak i början av perioden, låg	Extremt låg	>10	0-2
N5	15		5-20	Låg	Extremt låg	>10	0-2
N6	27		35-50 Signifikant minskning	Opportunistisk peak i början av perioden, normal	Normal	10	2-6

I fjordens allra innersta del är troligen faunan mest påverkad av den lokala belastningen. Ansträngningar som utförts för att minska belastningen under senare år har alltså varit positiva. Dessa ansträngningar är naturligtvis också positiva för fjordens yttre delar som dock troligen står under ett betydande inflytande från omgivande hav. De minskningar av näringsämneshalter som

konstaterats för yttre delar av Kattegatt har troligen även haft betydelse för utvecklingen på den yttersta, djupaste stationen i fjorden. Den negativa utvecklingen på de tre mellandjupsstationerna är svårare att förklara, men beror troligen på lokala ansamlingar av makrovegetation samt på intransport av organiskt material ansamlat i haloklinens övre del. En viktig transportmekanism härvidlag är de interna vågornas rörelser in mot fjordens mellersta del. Minskad belastning av näringsämnen borde dock leda till relativt sett högre produktion av ålgräs och makroalger än av växtplankton. Historiskt sett verkar dock en del ålgräs ha försvunnit sedan Jägerskiölds dagar under 1930-talet från den inre delen av fjorden (stationerna 60B och 61A).

4.4.2 Pearson-Rosenbergs modell för organisk belastning

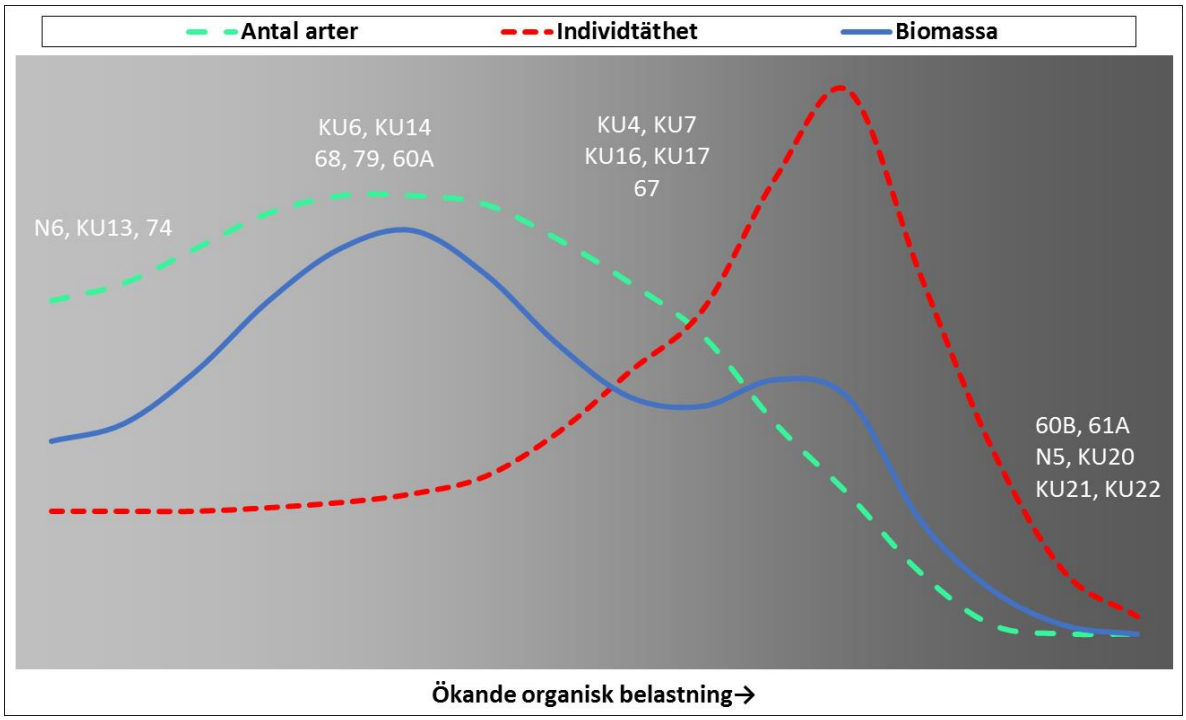
De sammantagna resultaten kan relateras till övergödningsförhållandena. Pearson-Rosenbergs modell (Pearson & Rosenberg 1978) beskriver hur den organiska belastningen påverkar antalet taxa, individtätheten och biomassan hos bottenfaunan (Figur 31). Generellt sett är svängningarna i resultat kraftigare vid hög organisk belastning än vid lägre organisk belastning enligt modellen. Viss stabilisering talar därför för att flertalet stationer rör sig mot lägre belastning. Parallella minskningar av antal taxa, individtäthet och biomassa sker dock både vid kraftigt ökad belastning och kraftigt minskad belastning. Stora förändringar av individtäthet sker däremot endast vid hög organisk belastning. Den typiska opportunistiska peaken i individtäthet sker också i samband med mycket hög organisk belastning.

De 19 stationerna i Kungsbackafjorden befinner sig troligen i olika utvecklingsskeden. Tolkningen är främst baserad på resultat från de fem stationerna med flera replikat och mätningar av redoxpotential (Tabell 3) och för övriga stationer utifrån BQI och biomassa (Figur 15). Denna tolkning blir till viss del subjektiv men kan ge en grov uppfattning om hur den organiska belastningen påverkar bottenfaunan i Kungsbackafjorden.

Förslagsvis har flertalet av de inre, grunda stationerna, befunnit sig i ett högt belastningsintervall eftersom massförekomster av opportunister förekommit och biomassan är hög (station 60A). Mellandjupsstationerna verkar däremot befinna sig på ”utförsbacken” eftersom opportunister förekommit och antal arter, individtäthet och biomassa är onormalt låga. De djupaste stationerna tycks befinna sig i ett intervall med hög biomassa och där antal arter minskar.

Förhållandena i inre och mellersta Kungsbackafjorden är alltså extrema och ligger längst till höger i Pearson-Rosenbergs modell (60B, 61A, N5, KU20, KU21 och KU22). Flera andra stationer ända ut till 25 meters djup är också kraftigt belastade och uppvisar låga biomassor och låg diversitet (KU4, KU7, KU16, KU17 och 67). De övriga stationerna är däremot mindre belastade och har relativt hög biomassa (60A, KU6, KU14, 68 och 79) eller relativt måttlig biomassa (N6, KU13, 74), de bör därför ligga längre till vänster i modellen.

I inre och mellersta Kungsbackafjorden är den organiska belastningen extremt hög med kraftigt reducerade sediment. Här pekar förändringarna på ökad belastning under perioden. Flera av stationerna i den yttre delen av fjorden är däremot avsevärt mindre belastade, de bör därför ligga långt till vänster i modellen. Detta kan bero på en långsiktig minskad belastning av kväve för hela området södra Östersjön-Kattegatt kopplad till förekomsten av växtplankton men även på ökad temperatur (Henriksen 2009). Helt säkert finns dock fler omvärldsfaktorer som påverkar bottenfaunan i området.



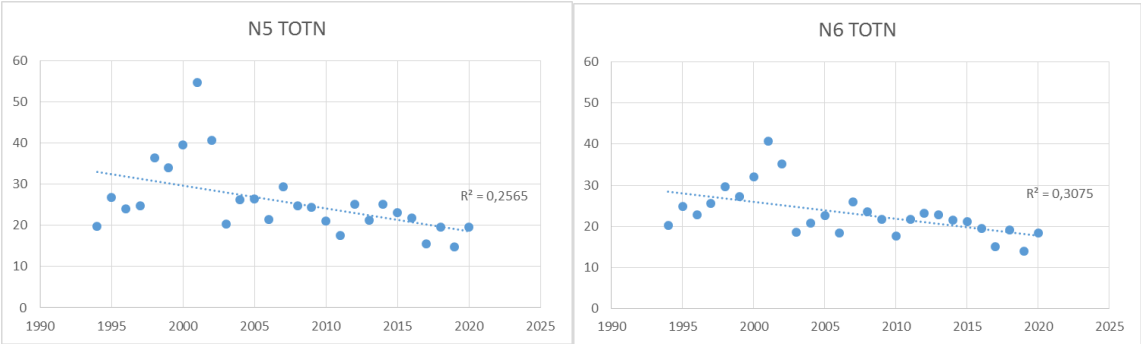
Figur 31. Pearson-Rosenbergs modell för hur den organiska belastningen påverkar antalet taxa, individtätheten och biomassan hos bottenfaunan I Kungsbackafjorden. Förslag för de 19 stationernas lägen baseras på utvecklingen av faunan i Kungsbackafjorden under perioden 2008-2020. Station 74, med grovt substrat, avviker från övriga stationer med finsediment. Omritad efter Pearson & Rosenberg 1978.

4.5 Troliga orsaker till utvecklingen

4.5.1 Näringsämnen och organisk belastning

Kvävehalterna har minskat kraftigt, ca 35-40%, på båda hydrografistationerna under perioden 1993-2020 (Figur 32). Sammanställningarna bygger på data från ytvattnet under vintern då produktionen vanligen är låg och halterna därför är mest jämförbara mellan år. Minskningen har varit störst på den inre stationen, N5, vilket kan bero på effektiva lokala åtgärder mot kvävebelastning eftersom belastningen här troligen till stor del kommer från lokala källor.

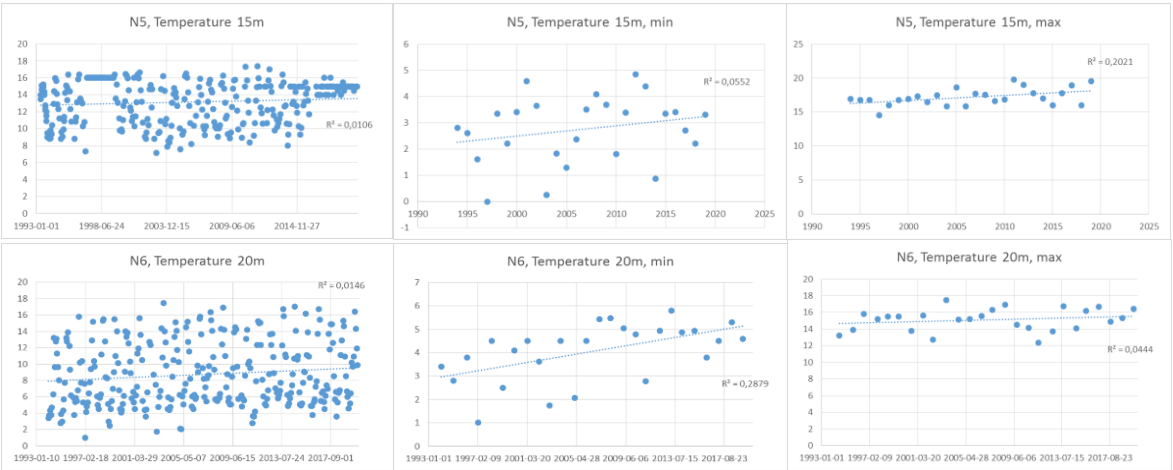
Kvävehalterna kan betraktas som ett indirekt mått på övergödningen (eutrofieringen). Kväve anses ju i första hand vara utbytesbestämmande för produktionen av växtplankton (Nixon 1988, Howarth & Marino 2006) vilket framförallt gäller Västerhavet. Eftersom växtplankton är första steget i näringskedjan är de av fundamental betydelse för bottendjuren och de övriga organismerna. Den kraftiga minskningen av belastningen bör ha minskat primärproduktionen vilket betyder mindre deposition av organiskt material på bottnarna och därmed mindre föda till bottendjuren. Förändringen borde ha haft stor betydelse för utvecklingen av bottenfaunan, både avseende antal arter och individtäthet och biomassa.



Figur 32. Utvecklingen av totalkvävehalter (µmol/L) i ytvattnet (0-5m) under vintern (nov-feb) på de båda stationerna n6 och N5 i Kungsbackafjorden. Medelvärden för perioden 1993-2020. Linjär regression. Båda trenderna är statistiskt signifikanta, p=0,003 (N6) och p=0,007(N5).

4.5.2 Klimatförändringar och ökad temperatur

Temperaturen i bottenvattnet har ökat betydligt under perioden 1994-2020. Detta är statistiskt signifikant och mest tydligt för uppmätta maximi- och minimivärden (Figur 33). Redan för perioden 1969-2009 noterades en uppgång för bottenvattnet på ca 1, 4°C som medelvärde i bottenvattnet (Göransson & Olsson 2015). Möjligen är det dock extremerna, som troligen inte fångas upp av de månatliga mätningarna, som har störst biologisk betydelse. Ökningen av maximitemperaturen på 15 meters djup på station N5 ligger på ca 1,8°C (11% ökning) medan ökningen av minimitemperaturen på station N6 på 20 meters djup ligger på mer än 2,1°C (ca 70% ökning). Ökningen av temperaturerna är alltså mycket kraftiga relativt det snäva temperaturintervallet som är normalt för bottenvattnet.

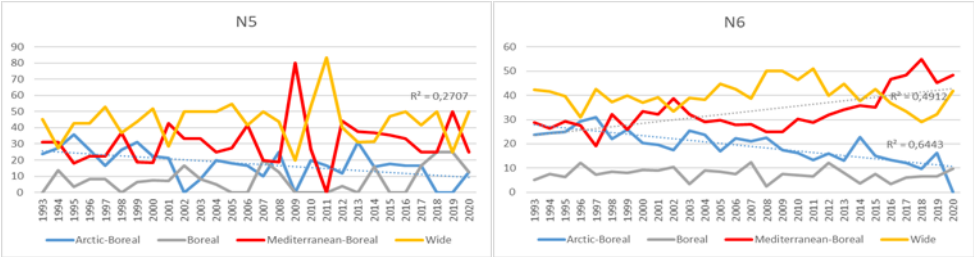


Figur 33. Förändring av bottenvattnets temperatur på hydrografistationerna N5 och N6 i Kungsbackafjorden längs Hallandskusten 1994-2020. Linjär regression. Samtliga uppmätta värden från 15 och 20 meters djup samt årliga min- och maxtemperaturer. Trender för samtliga värden och maximivärden för station N5 och minimivärden för station N6 är statistiskt signifikanta (p =0,010 respektive p=0,005).

Den relativt kraftiga ökningen av temperaturerna i bottenvattnet kan få omfattande konsekvenser för ekosystemet. Flera faktorer talar för långsiktigt lägre syrenivå, exempelvis ökad nedbrytningshastighet av organiskt material, minskad löslighet för syre och förstärkt språngskikt.

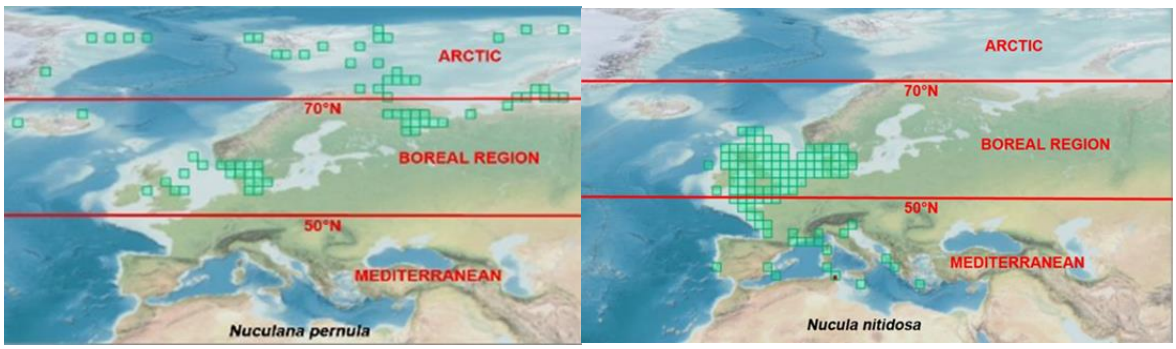
Artsammansättningen kan också förändras så att nordliga arter minskar och sydliga arter ökar. Det finns flera förutsägelser om att klimatförändringar påverkar bottenfaunan, men hittills finns endast få rapporter som pekar på smärre förändringar. Minskningar av det totala antalet taxa och arter med nordlig utbredning parallellt med en ökning av arter med sydlig utbredning längs Hallandskusten 1993-2016 kan dock vara ett resultat av klimatförändringar (Göransson 2017). Detta är även fallet när det gäller stationerna N5 och N6 under perioden 1993-2020 i Kungsbackafjorden (Figur 34).

Nordliga arter går statistiskt signifikant tillbaka på station N5 och N6 medan sydliga arter ökar statistiskt signifikant. Ökningen av bottenvattnets temperatur är den mest troliga förklaringen. Ökad temperatur kan förändra arternas utbredningsområde men också innebära att primärproduktionen minskar (Henriksen 2009), vilket också kan påverka arternas rekrytering och tillväxt. Syrebrist kan samverka till förändringarna av faunan.



Figur 34. Utvecklingen av zoogeografiska grupper av bottenfaunan i Kungsbackafjorden 1993-2020. Procentuell andelar av nordliga (Arktisk-Boreala), Boreala, sydliga (Mediterran-Boreala) och vitt utbredda arter på stationerna N5 och N6. Trenderna är statistiskt signifikanta och minskande för Arktisk-Boreala arter på båda stationerna och ökande för Mediterran-Boreala arter på station N6. Linjär regression. Trendlinjer och r^2.

I figur 35 ges två exempel på arter som haft en tydligt motsatt utveckling i Kungsbackafjorden 1993-2020, musslan *Nuculana pernula*, som har en nordlig utbredning och musslan *Nucula nitidosa*, som har en sydlig utbredning. Med nordlig utbredning avses här att arten finns i vårt område (Boreal-regionen) och upp i Arktis. Med sydlig art menas att arten finns i vårt område och utbredningen går ner i Medelhavet.



Figur 35. Utbredningskartor för musslorna *Nuculana pernula* och *Nucula nitidosa. N pernula*, som är nordlig (Arktiskt-Boreal) observerades senast 2004. *N Nitidosa* som är sydlig (Mediterran-Boreal) har ökat på station N6 under senare år. Arterna har ett likartat levnadssätt men olika slags reproduktion. Kartor från WORMS 2020. Gränser efter Ekman (1953).

4.5.3 Rödlistade arter och klimatförändringar

I tabell 4 redovisas de fem rödlistade arter som påträffats i proverna 1993-2020. För samtliga, utom en minskar individtätheten och för en är trenden statistiskt signifikant. Fyra av fem arter kan betraktas som starkt nordliga (Arktisk-Boreala) och icke pelagisk larvtyp dominerar.

Tre arter betraktas som nära hotade och två arter betraktas som sårbara. Icke pelagisk larvtyp dominerar för de rödlistade arterna vilket innebär att de har svårt att återetablera sig om de försvinner.

Tabell 4. Rödlistade arter i Kungsbackafjorden 1993-2020. Förändring (Linjär regression r^2, p) Sista observationsår. Stationer med förekomst, zoogeografisk grupp, larvtyp och rödlistekategori. CR = Critically Endangered (Akut hotad), EN = Endangered (Starkt hotad), NT = Near Threatened (Nära hotad), VU = Vulnerable (Sårbar).

Art	Minskning, sista observation, r^2	p	Stationer	Zoogeografisk grupp	Larvtyp	Red list
Ampelisca macrocephala	Minskning, sista obs 2007	NS	N6,69,74	Arctic-boreal	Non pelagic	NT
Musculus niger	Minskning, sista obs 2000	NS	N6, 60B, 63	Arctic-boreal	Non pelagic	VU
Mya truncata	Flera obs fram till 1993, sista 2002	NS	60a2,60a3,60A,60B,61A,74,79	Arctic-boreal	Pelagic	NT
Nuculana minuta	Minskning, sista obs 2003	NS	N6,69	Boreal	Non pelagic	VU
Nuculana pernula	r^2=0,162, Minskning, sista obs 2004	0,034	N6,69	Arctic-Boreal	Non pelagic	VU

De nordliga arterna dominerar alltså helt bland de rödlistade arterna vilket ytterligare pekar på att förändringen av artsammansättningen kan bero på klimatförändringar. Klimatförändringarna kan alltså vara en mycket viktiga för den fortsatta utvecklingen av bottenfaunan i Kungsbackafjorden.

5 Referenser

Andersson P M & L S Andersson. 2006. Long term trends in the seas surrounding Sweden. Part one – nutrients. *SMHI. Oceanography No 34.*

ArtDatabanken. 2020. http://www.artdata.slu.se/rodlista/index.cfm

Diaz R.J. & Rosenberg R. 2008. Spreading dead zones and consequences for marine ecosystems. *Science vol. 321 pp. 929-929.*

Ekman S. 1953. Zoogeography Of The Sea. https://archive.org/details/in.ernet.dli.2015.74439/page/n129/mode/2up

Embreco. 2021. Miljökonsekvensbeskrivning avseende verksamheten vid Hammargårds avloppsreningsverk, Kungsbacka kommun 2021-02-02.

Göransson P. 1996. Undersökning av bottenfaunan vid Hallandskusten 1996. *Rapport till länsstyrelsen i Hallands län.*

Göransson P. 1997. Bottenfaunan i Skälderviken, södra Laholmsbukten och längs Hallandskusten 1997. *Rapport till länsstyrelsen i Hallands län och Nordvästskånes Kustvattenkommitté*.

Göransson P. 1998. Bottenfaunan i Skälderviken, södra Laholmsbukten och längs Hallandskusten 1998. *Rapport till länsstyrelsen i Hallands län och Nordvästskånes Kustvattenkommitté*.

Göransson P. 1999. Bottenfaunan i Skälderviken, södra Laholmsbukten och längs Hallandskusten 1999. *Rapport till länsstyrelsen i Hallands län och Nordvästskånes Kustvattenkommitté*.

Göransson P. 1999c. Det långa och korta perspektivet i södra Kattegatt - bottendjurens berättelse från två provpunkter. *Fauna och Flora 94:3, 125-138.*

Göransson P. 2000. Bottenfaunan längs Hallandskusten 2000. *Rapport till länsstyrelsen i Hallands län*.

Göransson P. 2001. Bottenfaunan längs Hallandskusten 2001. *Rapport till länsstyrelsen i Hallands län*.

Göransson P. 2002. Petersen's benthic macrofauna stations revisited in the Öresund area (southern Sweden) and species composition in the 1990's – signs of decreased biological variation. *Sarsia 87:263-280.*

Göransson P. 2002b. Bottenfaunan längs Hallandskusten 2002. *Rapport till länsstyrelsen i Hallands län*.

Göransson P. 2003. Bottenfaunan längs Hallandskusten 2003. *Rapport till länsstyrelsen i Hallands län*.

Göransson P. 2004. Bottenfaunan längs Hallandskusten 2004. *Rapport till länsstyrelsen i Hallands län*.

Göransson P. 2005. Bottenfaunan längs Hallandskusten 2005. *Rapport till länsstyrelsen i Hallands län*.

Göransson P. 2006. Bottenfaunan längs Hallandskusten 2006. *Rapport till länsstyrelsen i Hallands län*.

Göransson P. 2007. Bottenfaunan längs Hallandskusten 2007. *Rapport till länsstyrelsen i Hallands län*.

Göransson P. 2008. Bottenfaunan längs Hallandskusten 2008. *Rapport till länsstyrelsen i Hallands län*.

Göransson P. 2009. Bottenfaunan längs Hallandskusten 2009. *Rapport till länsstyrelsen i Hallands län*.

Göransson P. 2010. Bottenfaunan längs Hallandskusten 2010. *Rapport till länsstyrelsen i Hallands län*.

Göransson P. 2011. Bottenfaunan längs Hallandskusten 2011. *Rapport till länsstyrelsen i Hallands län*.

Göransson P. 2012. Bottenfaunan längs Hallandskusten 2012. *Rapport till länsstyrelsen i Hallands län*.

Göransson P. 2013. Bottenfaunan längs Hallandskusten 2013. *Rapport till länsstyrelsen i Hallands län*.

Göransson P. 2014. Bottenfaunan längs Hallandskusten 2014. *Rapport till länsstyrelsen i Hallands län*.

Göransson P. 2015. Bottenfaunan längs Hallandskusten 2015. *Rapport till länsstyrelsen i Hallands län*.

Göransson P. 2016. Bottenfaunan längs Hallandskusten 2016. *Rapport till länsstyrelsen i Hallands län.*

Göransson P. 2017. Changes of benthic fauna in the Kattegat - An indication of climate change at mid-latitudes? *Estuarine, Coastal and Shelf Science 194: 276-285.*

Göransson P. 2017b. Bottenfaunan längs Hallandskusten 2010. *Rapport till länsstyrelsen i Hallands län*.

Göransson P. 2018. Bottenfaunan längs Hallandskusten 2018. *Rapport till länsstyrelsen i Hallands län.*

Göransson P. 2019. Bottenfaunan längs Hallandskusten 2019. *Rapport till länsstyrelsen i Hallands län.*

Göransson P. 2020. Videoundersökningar av djupa delar av Kungsbackafjorden och angränsande områden 2020. *Rapport till länsstyrelsen i Hallands län.*

Göransson P. & S. B. Johnson. 1993. Undersökning av bottenfaunan vid Hallandskusten 1993. *Rapport till länsstyrelsen i Hallands län.*

Göransson P. & S. B. Johnson. 1994. Undersökning av bottenfauna vid Hallandskusten 1994. *Rapport till länsstyrelsen i Hallands län.*

Göransson P. & S. B. Johnson. 1995. Undersökning av bottenfaunan vid Hallandskusten 1995. *Rapport till länsstyrelsen i Hallands län.*

Göransson P. & Olsson I. 2015. Bottenfaunan i Kungsbackafjorden 1969-2009. Med en återblick till 1930-talet. *Rapport till länsstyrelsen i Hallands län.*

Hansen JLS, Josefson AB & J Carstensen. 2003. Opgørelse af skadevirkninger på bundfaunaen efter iltsvindet i 2002 i de inre danske farvande. *Faglig rapport fra DMU, nr 456.*

Henriksen P. 2009. Long-term changes in phytoplankton in the Kattegat, the Belt Sea, the Sound and the western Baltic Sea. *J Sea Res 61:114-123.*

Howarth R W & Marino R. 2006. Nitrogen as the limiting nutrient for eutrophication in coastal marine ecosystems: Evolving views over three decades. *Limnol. Oceanogr, 51(1, part 2), 2006, 364–376.*

Håkansson L. & R. Rosenberg. 1985. Praktisk kustekologi. Naturvårdsverket. *Snv pm 1987.*

Naturvårdsverket 2007. Handbok 2007:4, bilaga B. Bedömningsgunder för kustvatten och vatten i övergångszon.

Nilsson H. C. & R. Rosenberg 1999. Analys av bottenmiljön i Kungsbackafjorden1999. Marine Monitoring AB vid Kristineberg.

Nixon, S. W. [ED.]. 1988. Comparative ecology of freshwater and marine ecosystems. *Limnol. Oceanogr. 33.*

i.M.M. AB 1992. Maringeologisk undersökning av Kungsbackafjorden. Anders Liljestrand, projektledare.

Jägerskiöld L A. 1971. A survey of the marine benthonic macro-fauna along the Swedish west coast 1921-1938. Ed. Hubendick B, Hyle G & Swärd S. *Zoologica 6. Kungl Vetenskaps- och Vitterhets-samhället. Göteborg 1971.*

Olsson, I. 1966. Marinekologiska undersökningar i Kungsbackafjorden med särskild hänsyn till bottenfaunan. *Licentiatavhandling i zoologi vid Uppsala Universitet*

Olsson, I. 1969. Marinekologiska undersökningar i Kungsbackafjorden. *Naturhistoriska Museums Årstryck, 27-54.*

Olsson I. 1976.Distribution and ecology of the foraminiferan *Ammotium cassis* (parker) in some Swedish estuaries. Zoon 4:137-147.

Olsson. I. 1978 Undersökning av bottenfaunan på fyra stationer i Kungsbackafjorden i juni 1977. *Rapport till Kungsbacka kommun.*

Olsson. I. 1981 Undersökning av bottenfaunan på sex stationer i Kungsbackafjorden i juni 1979. *Rapport till Kungsbacka kommun.*

Olsson I. 1983. Undersökning av bottenfaunan på åtta stationer i Kungsbackafjorden i maj 1981. *Rapport till Kungsbacka kommun.*

Olsson I. 1987. Undersökning av bottenfaunan på åtta stationer I Kungsbackafjorden i juni 1983 och i maj 1985. *Rapport till Kungsbacka kommun.*

Olsson I. 1993. Bottenfaunaundersökningar i Kungsbackafjorden 1987 –1990. *Rapport till Kungsbacka kommun.*

Olsson I. 1996. Bottenfaunaundersökningar i Kungsbackafjorden 1993. *Rapport till Kungsbacka kommun.*

Olsson I. 1998. Bottenfaunaundersökningar i Kungsbackafjorden 1996. *Rapport till Kungsbacka kommun.*

Olsson I. 2000. Bottenfaunaundersökningar i Kungsbackafjorden 1999. *Rapport till Kungsbacka kommun.*

Olsson I. 2005. Bottenfaunaundersökningar i Kungsbackafjorden 2002. *Rapport till Kungsbacka kommun.*

Olsson, I. & J. Börjesson. 1976. Undersökningar avseende bentisk vegetation och bottenfauna i Kungsbackafjorden 1974 och 1975. *Rapport till Kungsbacka kommun.*

Pearson T H & Rosenberg R. 1978. Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann Rev. 16: 229-311*

Rosenberg R, Hellman B. & Johansson B. 1991. Hypoxic tolerance of marine benthic fauna. *Mar. Ecol. Prog. Ser. 79: 127-131.*

Rydberg, L. 1982. Något om Kungsbackafjordens vattenutbyte och närsaltbalans. Röda serien, Göteborg

Smith W & McIntyre A D. 1954. A spring-loaded bottom sampler. *J Mar Biol Assoc. U. K. 33.1954. sid 261.*

Sokal R R & F J. Rohlf. 1995. Biometry. The principles and practice of statistics in biological research. Third edition. W H Freeman and company.

SWECO. 2021. Karakteristiska strömmar i Kungsbackafjorden. Data för tillförsel av kväve och fosfor.

Tunberg B. 1998. Övervakning av mjukbottenfauna längs Sveriges västkust. Sammanfattande rapport över utvecklingen 1996-1997. Långtidstrender. Klimatpåverkan. *Naturvårdsverket. Kristinebergs Marina Forskningsstation*. 12 sid.

WORMS 2020. https://www.marinespecies.org/