

Käppalaförbundet

Käppalaverket, MKB inför tillståndsansökan

RECIPIENTFÖRHÅLLANDEN

Uppsala 2014-12-17

Innehåll

1.	Sammanfattning.....	1
2.	Från låggradig till höggradig rening	2
2.1	Enskilda avlopp och mindre reningsverk	2
2.2	Utsläpp till innerskärgården	2
3.	Nuvarande förhållanden.....	3
3.1	Strömnings- och skiktningförhållanden.....	3
3.2	Syreförhållanden.....	5
3.3	Näringsämnen - översikt	7
3.3.1	Fosfor	9
3.3.2	Kväve.....	9
3.4	Biologiska förhållanden	10
3.4.1	Växtplankton	10
3.4.2	Klorofyll	10
3.4.3	Bottenfauna	10
4.	Framtiden med utblick mot år 2030	11
4.1	Strömning och klimat.....	11
4.2	Effekter beroende på befolkningsökning och reningskrav.....	12
4.3	Framtida utsläpp från Käppalaverket	14
4.4	Effekter i recipienten av rening av mer vatten men lägre utsläpp.....	15
4.4.1	Kemiska förändringar.....	15
4.4.2	Biologiska förändringar	16
4.4.3	Slutsatser om framtiden.....	17

1. Sammanfattning

Storstockholm har sedan 1960-talet haft tre stora centrala avloppsreningsverk, vilka har avlastat alla de små recipienter vilka tidigare tog emot belastningen från mindre renat avloppsvatten. Satsningen på ett fåtal stora anläggningar medförde att ekonomiska- och tekniska resurser kunde kraftsamlas till tre stora verk och utsläppen kunde koncentreras till de inre delarna av Saltsjön. Därmed möjliggjordes efter hand strandbad i centrala Stockholm, ett unikt förhållande internationellt sett. Att utsläppen fick ske till de inre delarna av Saltsjön var logiskt. Området var sedan ca 900 år tillbaka belastat av mänsklig påverkan. Att då fortsätta med utsläpp av högre renat avloppsvatten till ett begränsat område och därmed förskona mellan- och ytterskärgården från påverkan ansågs, och får ännu anses, vara en god ekologisk princip.

Käppalaverket släpper idag genom en trätub det renade avloppsvattnet till Halvkakssundet mellan Lidingö och Nacka. Utsläppet sker på 48 m djup och 130 m ut från land. Halvkakssundet är ett sund mellan Lilla Värtan och Höggarnsfjärden i Stockholms inre skärgård. Längre in mot de centrala delarna av Stockholm sker även utsläppet av renat avloppsvatten från Stockholm Vattens två avloppsreningsverk, Bromma och Henriksdal.

Av det totala nuvarande utsläppet av näringsämnen till innerskärgården svarar Mälaren för den absoluta merparten. Under kortare perioder är andelen "ungefär lika". I tillbakablick kan man också påpeka, att de regionala reningsverken sedan år 1995 i stort sett har halverat utsläppta mängder av närsalter och syretärande ämnen till recipient, samtidigt som antalet anslutna personer nära nog har fördubblats.

Framtida klimatförändringar kan komma att innebära både en ändrad tappningsstrategi av Mälaren men även frisättning av större andel oorganiska näringsämnen (fosfatfosfor och ammoniumkväve) då högre ytvattentemperatur kommer att leda till längre perioder med långvarig skiktning med större risk för syrebrist i bottenvattnet som ger frisättning av näringsämnen som finns fastlagda i sedimentet. Detta riskerar därför främst under hösten leda till högre halter av oorganiska näringsämnen i innerskärgårdens ytvatten.

2. Från lågradig till höggradig rening

2.1 Enskilda avlopp och mindre reningsverk

Alternativet historiskt sett till att föra samman avloppsvattnet från norra Storstockholm till Käppalaverket har varit att hantera avloppen genom enskilda lösningar eller i flera mindre reningsverk. Så var fallet innan Käppalaförbundet bildades. I och med tillkomsten av Käppalaverket har resurser koncentrerats, vilket sammantaget lett till en bättre vattenmiljö på många ställen. Ett större avloppsreningsverk för även med sig stordriftsfördelar, vilket ger ett bättre reningsresultat, lägre energiutnyttjande och kemikalieförbrukning, sett till mängden renat vatten.

2.2 Utsläpp till innerskärgården

Stockholms innerskärgård är sedan mer än 900 år i de inre delarna utsatt för en mänsklig påverkan. Käppalaförbundets ambitioner med planerad kapacitetsökning vid verket innebär att fler människor kan anslutas till anläggningen, samtidigt som utsläppta mängder inte ökar från dagens situation.

Statusen i recipienten har avsevärt förbättrats sedan tillkomsten av de stora moderna reningsverken som betjänar Stockholmsregionen. Den i framtiden utökade tappningen från Mälaren kommer även den att bidra till att minska effekterna av utsläpp av renat avloppsvatten i den inre skärgården då den ökade tappningen sannolikt kommer att innebära en ökad vattenomsättning. Fortsatt utsläpp till innerskärgården innebär även att mellan och ytterskärgården avlastas den belastning det skulle ha inneburit att flytta utsläppen till fler diffusa källor alternativt att förlägga utsläppspunkterna längre ut i skärgården.

3. Nuvarande förhållanden

I detta kapitel har vi utfört en sammanfattning av nuvarande förhållande i recipienten. VAS-rådets bägge recipientrelaterade rapporter från 2006¹ och 2012² anser vi ger en så bra aktuell beskrivning av det nuvarande och framtida förhållandet i Stockholmskärgård, att de får utgöra den centrala delen i denna recipientutvärdering. Delar av data till nulägesanalysen har även hämtats från Stockholmvattens skärgårdsrapporter samt Svealandskustens kustvattenvårdsförbund.

Halvkakssundet är beläget i den inre delen av Stockholms innerskärgård mellan lilla Värtan och Askrikefjärden. Till sundet gränsar i norr Lidingö stad och i söder Nacka kommun. Sundet utgör recipient för det renade avloppsvattnet från Käppalaverket, vilket släpps ut via en trätub 130 m ut från land på 48 m djup.

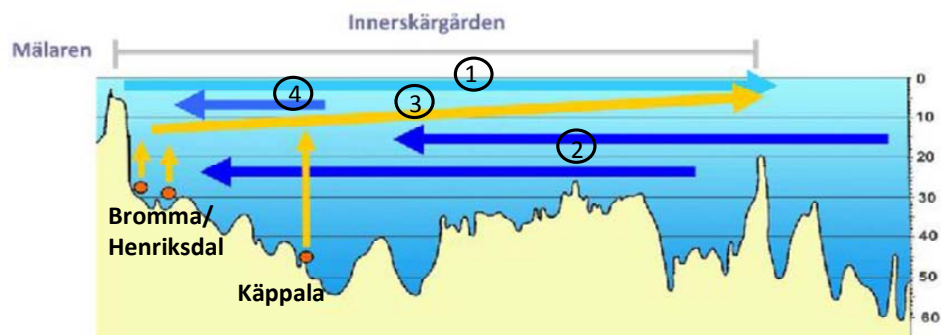
3.1 Strömnings- och skiktningförhållanden

Saltsjön mottar större delen av det totala utflödet av sötvatten från Mälaren via tappning vid Slussen. I **Figur 1** sammanfattas strömningsbilden ut till Oxdjupet, samtidigt som den redogörs för här.

- 1) Mälarsvattnet är den drivande kraften för vattenomsättningen i Stockholms inner- och mellanskärgård. Det söta Mälarsvattnet bildar en utåtgående ytvattenström som passerar i huvudsak genom Halvkakssundet, och innerskärgården samt vidare ut mot Östersjön.
- 2) Det utåt strömmande Mälarsvattnet ger upphov till en inåtgående bottenström med saltare vatten som flyter från ytterskärgården genom mellan- och innerskärgården ända in till Slussen. Där tvingas detta vatten upp mot ytan och vänder utåt igen, initialt inskiktat under sötvattnet. Den utåtgående ytvattenströmmen utgörs därför av en blandning av bottenvatten och Mälarsvatten med en salthalt som beror främst av aktuellt flöde från Mälaren. Vid Oxdjupet finns dock en tröskel på ca 20 m djup, vilket gör att utbytet av längre ut beläget bottenvatten begränsas.
- 3) Avloppsvattnet från Stockholms centrala reningsverk (Henriksdal och Bromma) blandas in i bottenvattnet och skapar en tredje utåtgående ström som inlagras på ca 10-20 m djup, d.v.s. över den tunga inåtgående strömmen.
- 4) Denna "tredje ström" initierar i sin tur ytterligare en andra inåtgående kompensationsström.

¹ Robust avloppsvattenrening i Stockholms Län – en utblick mot år 2030 med fokus på recipienten. VAS rådets rapport nr 12, 2013.

² Avloppsvattenrening i Stockholms län år 2030. En översiktlig studie av hinder samt möjliga vägar framåt. VAS-rådets rapport nr 1, 2006



Figur 1. Översiktlig beskrivning av strömningsförhållandet i innerskärsgården. Numreringen hör samman med numreringen i föregående stycke. Orange pil symboliserar den 3:e strömmen (avloppsvattenströmmen). (Källa: Stockholm vatten)

Vid Oxdjupet har de olika utåtgående strömmarna blandats samman till en utåtgående yttlig ström och bara en inåtgående bottenström.

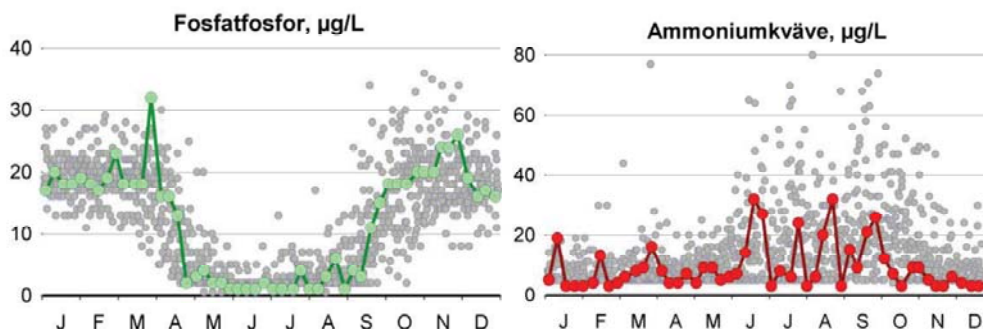
Det reade avloppsvattnet från Käppalaverket pumpas ut till den stora segelleden i Halvkakssundet och släpps på 48 m djup. Utsläppsplymen från Käppalaverket stiger sedan från utsläppsdjupet och blandas in yttligare d.v.s. i den utåtgående strömmen. Utsläppet av reat avloppsvatten från Käppalaverket har inte kunnat spåras i de recipientprovtagningar som utförs i Halvkakssundet. Det samlade flödet av reat avloppsvatten från reningsverken i centrala Stockholm, som medelvärde under året motsvarar ca 5,8 m³/sekund. Av detta svarar Käppalaverket för ca 1,6 m³/s d.v.s. ca 27 %.

Enligt VAS rapporten, 2012 är det viktigt med ett bibehållet ytskikt med låg salinitet (Mälarevattnet) då detta förhindrar uppträngningen av det utspädda, reade avloppsvattnet direkt till ytan. Det reade avloppsvattnet blandas därför under utspädning in på ett djup med en salinitet på ca 4,5 PSU (Practical Salinity Unit). Ofta motsvarar det ca 10-20 meters djup i innerskärsgården³.

Avtapningen från Mälaren varierar mycket under året, med det största utflödet under början och slutet av året. Det innebär även att strömningsförhållandena varierar över året och kopplat till detta att det största bidraget av näringsämnen från Mälaren sker i början och slutet av året, d.v.s. utanför den egentliga växtsäsongen då näringsämneshalterna är som högst i det utströmmande Mälarevattnet.

³ Robust avloppsvattenrening i Stockholms Län – en utblick mot år 2030 med fokus på recipienten, s 17. VAS rådet 2013.

Under *växtsäsongen* är vanligen förrådet av fosfatfosfor uttömt i det utströmmande Mälarevattnet, medan koncentrationerna av oorganiska kväveföreningar är högre men kan tillfälligtvis vara mycket låga se **Figur 2**.



Figur 2. Innehållet av fosfatfosfor respektive ammoniumkväve i Mälarens utflöde. 1990-2012 grå prickar. Röda/gröna prickar för 2013.

Reningsverkens sammanlagda utsläpp av renat avloppsvatten sommartid är något större (ca 5 m³/s) än det uppskattade läckflödet från Mälaren på ca 3,5 m³/s. Det betyder att renat avloppsvatten fyller en väsentlig funktion i omsättningen av främst bottenvatten innanför Oxdjupet under vegetationsperioden.

3.2 Syreförhållanden

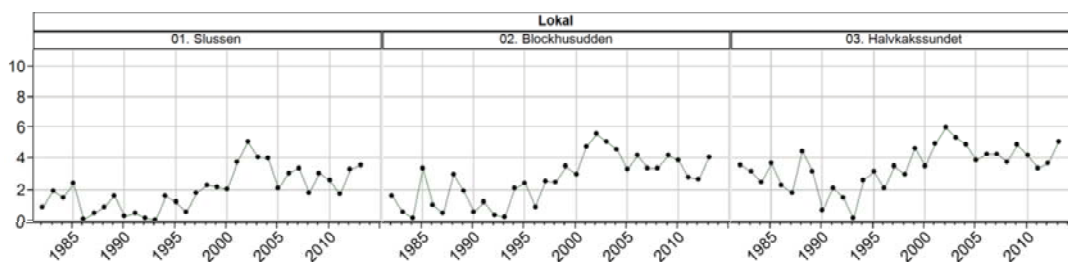
Salthaltsskiktningen mellan yt- och bottennära vatten medför att någon vertikal omblandning av vattnet inte sker under året. Utbytet av bottenvatten är därför helt beroende av den inåtgående strömmen av tungt salt bottenvatten som drivs av ytvattenströmmen från Mälaren. Under senare delen av sommaren är bottenvattnet mer eller mindre stagnant till följd av att den inåtgående strömmen är svag beroende på att tappningen från Mälaren är liten. Stagnationsperioden i innersta delen av skärgården pågår ofta ända in i oktober. Det är till helt övervägande del vårflodens storlek och uthållighet som styr över vattenomsättningen och syreförhållandena i innerskärgårdens bottenvatten och inte belastningen från dagvatten, avloppsreningsverk eller andra källor.

I VAS-utredningen⁴ visas att sambandet mellan vårflodens storlek och syreminskningshastigheten i Halvkakssundets bottenvatten är mycket starkt. Framtida klimatscenarier visar på än högre tappning från Mälaren under delar av året vilket sannolikt ger ett än större utbyte av bottenvattnet och därmed än mindre risk för ansträngda syreförhållanden.

⁴ Robust avloppsvattenrening i Stockholms Län – en utblick mot år 2030 med fokus på recipienten. VAS rådet 2013, sid 27.

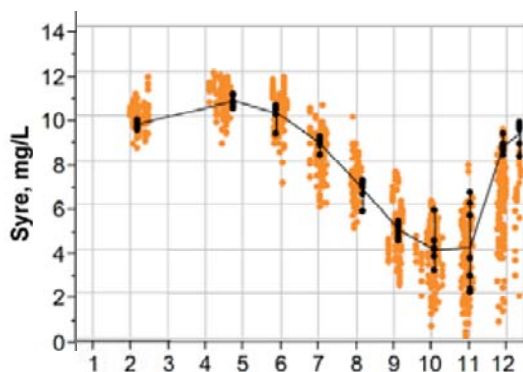
Syreförhållandena i Halvkakssundets bottenvatten har tidigare år periodvis under senhösten varit ansträngda. Under de senaste åren har dock syreförhållandet i bottenvattnet återhämtat sig på ett positivt sätt. Det i sin tur medför en minskad utlösning av sedimentbunden fosfor till vattnet, något som annars kan förekomma vid total syrebrist.

I Stockholm Vattens skärgårdsrapport ges en sammanställning över syreförhållandet i innerskärgården genom en redovisning av lägsta uppmätta syrehalt på 8-20 m djup under perioden 1982-2013 d.v.s. de senaste 30 åren. Som framgår av **Figur 3** har syreförhållandet klart förbättrats under denna period.



Figur 3. Årligen lägsta uppmätta syrehalt i inre delen av skärgården på 8- 20 m djup 1982-2013. (källa: skärgårdsrapporten 2013).

Under våren och försommaren, i samband med och omedelbart efter "vårblomningen" av alger fastläggs fosfor i sedimenten och "låses fast där" så länge sedimenten är oxiderade. Att syreförhållandet i bottenvattnet har förbättrats de senaste 18 åren framgår av sammanställningen av syreanalyser i bottenvattnet i Halvkakssundet, se **Figur 4**.



Figur 4. Variation av syrehalten (mg/l) i bottenvattnet i Halvkakssundet under perioden 1995 – 2013 där resultatet 2013 utgörs av svart linje och punkter. (Källa skärgårdsrapporten 2013).

Bedömningen är därför att det totalt sett har skett en nettofastläggning av fosfor i innerskärgårdens botten sediment under senare år. Detta förhållande är ett tydligt

tecken på att miljöförhållandena i de inre delarna av Stockholms skärgård långsiktigt är på väg att återhämta sig, även om tillfälliga "bakslag" kan inträffa.

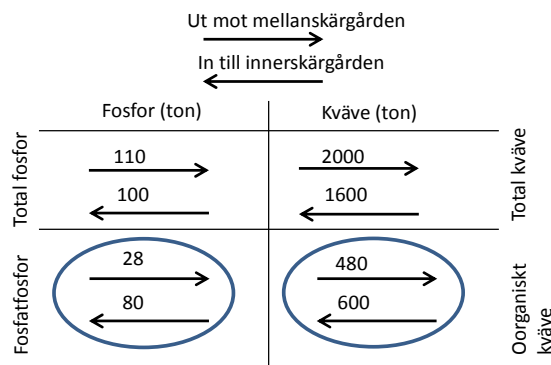
3.3 Näringsämnen - översikt

Som tidigare beskrivits innebär det största bidraget av näringsämnen från Mälaren under vår och höst. Då växtsäsongen inleds strax efter islossningen förbrukas kvarvarande oorganiska näringsämnen från Mälaren i den fotiska zonen (till det djup där fotosyntes kan ske) under växtplanktons vårblomning. Då vårblomningen passerat, fastläggs dessa näringsämnen till stor del i bottensedimentet.

Sommartid är flödet från Mälaren som lägst under året, samtidigt som halterna av de växttillgängliga näringsämnena i ytvattnet också är som lägst då dessa har förbrukats av växtligheten i Mälaren. Därigenom är det främst tillgången på fosfatfosfor som begränsar alg tillväxten i Stockholms innerskärgård. Sedan införandet av kemisk rening vid reningsverken i början av 1970-talet har ytvattnets innehåll av växttillgängligt fosfatfosfor vanligen varit uttömt i innerskärgården under stora delar av växtsäsongen.

Den inåtgående strömmen från ytterskärgården till innerskärgården har under växtsäsongen (mitten av april till och med oktober) för perioden 2000 till 2009 beräknats föra med sig ca 100 ton fosfor och 1600 ton kväve. Av denna intransport utgörs årligen ca 80 respektive 600 ton av oorganiskt fosfor och kväve.

Uttransporten från innerskärgården till mellanskärgården av fosfor och kväve uppgår under växtsäsongen till 110 respektive 2000 ton varav ca 28 respektive 480 ton utgörs av oorganiska fraktioner, se **Figur 5**.



Figur 5. Redovisning av de beräknade⁵ transportererna av kväve och fosfor mellan innerskärgården och mellanskärgården.

⁵ Robust avloppsvattenrening i Stockholms Län – en utblick mot år 2030 med fokus på recipienten. VAS rådet 2013 sidan 23-25 och 29

Detta innebär att det enligt beräkningarna sker en större intransport av det begränsande näringsämnet fosfatfosfor än uttransporten, i vilket reningsverkens utsläpp är inkluderat. Sammantaget konstaterar VAS-rapporten⁶ genom de beräkningar som redovisas att det är halten av näringsämnen i det inåt strömmande bottenvattnet som till stora delar avgör näringsämneshalten i innerskärgårdens ytvatten och därmed sannolikt till stor del även alg tillväxtens storlek i denna del av skärgården.

Förutom avloppsreningsverken och Mälaren ger övriga källor ett bidrag till näringsämnen i den inre skärgården, där följande kan nämnas:

- Atmosfäriskt nedfall
- Avrinning från mark
- Enskilda avlopp och fritidsbåtar
- Mindre reningsverk (totalt 3 stycken)

Grovt uppskattat uppgår bidragen av näringsämnen till innerskärgården från övriga källor till ca 10 ton fosfor och 300 ton kväve per år. En sammanställning av näringsämneskällorna i innerskärgården redovisas i **Tabell 1**.

Tabell 1. Bidraget av fosfor och kväve från olika källor till innerskärgården (källa: VAS, 2013).

	Totala mängder		Oorganiska fraktioner	
	Fosfor (ton/år)	Kväve (ton/år)	Fosfor (ton/år)	Kväve (ton/år)
Mälaren	140	3200	75	1100
Avloppsreningsverken	26	1630	13	1450
Inåtgående strömmen	200	3000	80	600
Övriga källor	10	300	1	150
Summa	380	8100	170	3300

Som framgår av **Tabell 1** bidrar den inåtgående strömmen med större fosformängder än både Mälaren och avloppsreningsverken medan kvävemängderna är ungefär lika stora som Mälarens utflöde.

När utsläppen till innerskärgården från avloppsreningsverken under senare år har minskat, är det andra faktorer som har fått en förhållandevis allt större betydelse för koncentrationen av näringsämnen i ytvattnet. De viktigaste källorna är uppvällning av inströmmande bottenvattnet vid Slussen, samt halten av näringsämnen i Mälarens utflöde och storleken på tappning från Mälaren.

⁶ Robust avloppsvattenrening i Stockholms Län – en utblick mot år 2030 med fokus på recipienten. VAS rådet 2013 sidan 24

3.3.1 Fosfor

Fosforkoncentrationen i bottenvattnet är i allmänhet högre än i ytvattnet. Låga syrehalter i bottenvattnet under sensommar och höst kan medföra en utlösning av sedimentbunden fosfor varför de högsta fosforhalterna i bottenvattnet i innerskärgårdens djupare fjärdar oftast uppmäts då. I tidigare perioder har så också varit fallet i Halvkakssundet. Förekomsten av fosfor i bottenvattnet innebär inte att det är växttillgängligt, eftersom vattenmassan är skiktad. Det är enbart då det stagnanta fosforrika bottenvattnet förs upp ytligt vid Slussen och vänder utåt igen, som det blir möjligt för alger att utnyttja det. Sådana förhållanden är ovanliga sommartid, eller sker i liten skala.

Det för växterna begränsande näringsämnet fosfatfosfor är därför i stort sett uttömt i den fotiska zonen⁷ sommartid.

3.3.2 Kväve

Utfloppet av kväve från innerskärgården är ca 30 procent mindre än tillskottet som sker från Mälaren, reningsverken, via vattendragens avrinning och atmosfärsdeposition samt ytterligare några mindre källor. Orsaken till det är den denitrifikation som sker i vattnet och omvandlar löst oorganiskt kväve till kvävgas, vilket avgår till atmosfären.

Från de tre stora avloppsreningsverken och Mälaren utgör tillförseln på årsbasis till innerskärgården av fosfor respektive kväve ca 20 respektive 40 procent av den totala tillförseln. För oorganiskt kväve uppgår den till ca 60 procent. Utfloppet från Mälaren är mycket varierande medan bidraget från avloppsreningsverken är relativt konstant. Införandet av kväverening vid mitten av 1990-talet har gett en mycket kraftig minskning av halterna av oorganiskt kväve i innerskärgården, i vart fall ut till Nyvarp. En sammanställning av de olika källornas relativa betydelse procentuellt sett kan ses i **Tabell 2**.

Tabell 2. Procentuell fördelning av fosfor och kväve från olika källor till innerskärgården. (källa: VAS, 2013).

Källa	Totala mängder		Oorganiska fraktioner	
	Fosfor %	Kväve %	Fosfor %	Kväve %
Mälaren	37	39	44	33
Avloppsreningsverken	7	20	8	44
Inåtgående strömmen	53	37	47	18
Övriga källor	3	4	1	5

⁷ : Motsvarar ungefär tre gånger siktdjupet

Ammoniumkväve är den kvävefraktion som alltid föredras av alger då ammonium kan tas upp direkt av algerna utan den energikrävande process som krävs för algerna vid upptag av nitrat. Utsläppet av ammoniumkväve (NH₄-N) från Käppalaverket har under de 5 senaste somrarna som medelvärde uppgått till ca 0,8 mg/l. Utsläppt halt är därmed långt under det ålagda riktvärdet på 3 mg/l som medelvärde för sommarperioden.

3.4 Biologiska förhållanden

3.4.1 Växtplankton

Vårblomningen av planktiska alger börjar i april-maj. Algerna tillväxer snabbt och utnyttjar det näringsförråd som ansamlats under vintern och av vårfloden. I slutet av blomningen sjunker de döda algerna ner mot botten vilket medför en utarmning av ytvattnets näringsförråd. Under vegetationsperioden är ytvattnets innehåll av oorganiskt fosfor i stort sett helt uttömt, vilket innebär att det är fosfor som främst begränsar algtillväxten. I andra delar av skärgården förekommer även tillväxtbegränsning på grund av avsaknad av oorganiskt kväve. Närsaltkällorna som tillför ytvattnet kväve efter vårblomningen är främst Mälaren, avloppsreningsverken och uppvällande bottenvatten.

3.4.2 Klorofyll

Klorofyll är ett mått på den totala algmängden i ett vatten och är starkt kopplad till mängden fosfatfosfor i Stockholms innerskärgård. Störst betydelse för klorofyllhalten har införandet av fosforering vid reningsverken omkring år 1970 vilket ledde till minskande klorofyllhalter med ca 1/3 del fram till 1990 talet. Kvävereningens införande gav som väntat betydligt mindre effekter på klorofyllhalten. Detta understryker än en gång att det är fosfortillgången som är begränsande för planktontillväxten.

3.4.3 Bottenfauna

Bottenfaunan i innerskärgården består i huvudsak av störningståliga arter. I den inre delen av innerskärgården bedömdes bottenfaunan under 2012 som otillfredsställande och på gränsen till dålig utifrån BQI (Benthic Quality Index) Öster om Lidingö, det vill säga i området utanför utsläppet av renat avloppsvatten från Käppala, är BQI-index på gränsen mellan måttlig och god status. Man kan även bedöma hur störda bottendjuret är på olika platser genom att studera förekomsten av extra störningskänsliga arter. I området öster om Lidingö förekom både vitmärla (*Monoporeia affinis*) och korvmask (*Halicryptus spinolosus*) vid bottenfaunaprovtagningen 2012. Bägge klassas som mycket störningskänsliga. Vid syrebrist saknas oftast korvmasken helt medan vitmärlan enbart återfinns på grundare vatten. Detta är därmed ytterligare en tydlig indikation på att syreförhållandet i bottenvattnet har förbättrats under de senaste åren då bottenfaunan inte kan fly vid tillfälligt försämrade förhållanden.

4. Framtiden med utblick mot år 2030

4.1 Strömning och klimat

Det *klimatescenario* som redovisas av SMHI⁸ för Stockholmsregionen fram till år 2100 kommer att innebära en ökad årsnederbörd på mellan 10 – 30 % med den största ökningen i slutet av perioden. Andelen skyfall antas öka vilket ställer krav på att kunna omhänderta stora mängder dagvatten. Den största ökningen förutspås ske under vinterhalvåret. Snötillgången bedöms minska avsevärt och snöns maximala vatteninnehåll kommer att minska med upp till 70 % under seklet.

Scenario för Mälarens avbördning

Enligt detta scenario kommer en jämnare avtappning av Mälaren att ske vintertid med en minskad vårflod vilket kan komma att i vissa delar innebära ett sämre utbyte av bottenvatten i innerskärgården under delar av året samtidigt kommer totalt sett mer vatten att avtappas från Mälaren men i en jämnare takt.

Som det har varit hittills har vårflodens storlek från Mälaren avspeglats i syresituationen i bottenvattnet i den inre delen av Stockholmskärgård under hösten. År med liten vårflod har så gott som alltid medfört en sämre syresituation. Detta har även dokumenterats i den recipientkontroll som utförs i skärgården där den omfattande svavelvätebildning som förekom i innerskärgårdens bottenvatten 1976 sammanföll med det minsta årsflödet och den näst minsta vårfloden från Mälaren sedan regelbundna provtagningar i skärgården infördes 1968. Under 2000-talet har sambandet varit starkt mellan vårflodens storlek och syreminskningshastigheten i Halvkakssundets bottenvatten, vilket är den djupaste provpunkten i innerskärgården.

En framtid med jämnare avtappning av Mälaren riskerar därmed att ge färre rejäla vårfloder och därmed större risk för ansträngda syreförhållanden i bottenvattnet. Samtidigt kommer utsläppen av näringsämnen att fortsätta att minska från bl.a. de centrala reningsverken varför detta kan komma att mildra effekten av en om än större men jämnare avtappning av Mälaren genom en mindre tillförsel av näringsämnen.

Avbördning via Slussen - Norrström

I samband med projekt Slussen för att kunna öka avtappningen av Mälaren har SMHI⁹ tittat på vattentappningsstrategi för de kommande åren fram till år 2100. Den nya föreslagna regleringen föreslås innebära en mjukare reglering med jämnare flödesförändringar i Norrström och Söderström jämfört med dagens reglering. Enligt de beräkningar som SMHI redovisar kommer den nya tappningsstrategin innebära färre dagar med minimitappning, samt över lag ett

⁸ SMHI 2011. Regional klimatsammanställning – Stockholms län. SMHI rapport 2010-78.

jämnare utflöde från Mälaren. Detta innebär för vattenomsättningen i innerskärgården att det sannolikt kan bli kortare perioder med stagnanta förhållanden i bottenvattnet jämfört med hur det är i dag. Rimligen medför det också förbättrade syreförhållanden i bottenvattnet.

Fram till i dag har den momentana storleken på utflödet från Mälaren varit av betydelse för vattenkvaliteten. Halterna av totalfosfor, totalkväve, TOC och vattenfärg har generellt ökat med ett ökat flöde. Högre medeltemperatur kommer att innebära en stabilare skiktning i vilket gör att halterna i utflödet blir lägre under den skiktade perioden. Att höstomblandningen kommer att komma senare på året innebär även att påverkan på växtligheten blir mindre.

VAS utredningen¹⁰ anger att vattenutbytet med djupområdena under våren försämras vilket medför en snabbare syreminskning under stagnationsperioden, något som medför en ökad risk för låga syrehalter under sommar och höst. Densitetsskiktningen förutspås bli lägre då saliniteten i ytvattnet ökar sommartid till följd av den minskade tappningen. Redan under sommaren 2013 var det enligt skärgårdsrapporten¹¹ onormalt låg tappning under sommarperioden och därmed högre salinitet i ytvattnet än på många år. Under 2013 avspeglades dock inte detta som sämre syreförhållanden i innerskärgårdens bottenvatten. Det har konstaterats att vattenomsättningen och vårflodens storlek förefaller vara av större betydelse än belastningen beträffande risken för ansträngda syreförhållanden i bottenvattnet. Slutsatsen i VAS 2013 är att högre temperatur, större flöden under vintern och lägre flöden under sommaren medför en försämring av vattenkvaliteten i innerskärgården. Bedömningen av framtida förhållanden i innerskärgården kompliceras av att vattenomsättningen sannolikt kommer att påverkas av såväl ökade volymer renat avloppsvatten på grund av större antal anslutna personer som av effekten av helt uteblivet avloppsvattenflöde på grund av bortledning.

4.2 Effekter beroende på befolkningsökning och reningskrav

Kväve- och fosforutsläppet från Käppalaverket kommer i framtiden att minska trots att mer avloppsvatten renas då fler personer ansluts. Från innerskärgårdens övriga reningsverk, Henriksdal och Bromma är det ännu inte klarlagt hur stort utsläppet i framtiden kommer att bli.

VAS-rapporten blickar mot år 2030 med hjälp av 5 scenarier där alternativ nr 3 eller 4 enligt författarna anses som de troligaste. Alternativ 3 innebär en hög befolkningsökning och skärpta reningskrav jämfört med idag med följande begränsningsvärden BOD₇ 8 mg/l, fosfor (tot-P) 0,2 mg/l och kväve (tot-N) 6 mg/l. Alternativ 4 innebär både befolkningsökning och nedläggning av mindre

⁹ SMHI 2011. Projekt Slussen- Förslag till ny reglering av Mälaren. SMHI rapport 2011-64

¹⁰ Robust avloppsvattenrening i Stockholms Län – en utblick mot år 2030 med fokus på recipienten. VAS rådet 2013.

¹¹ Undersökningar i Stockholms skärgård 2013. Vattenkemi och växtplankton. Stockholm Vatten AB, 2014.

reningsverk och överföring av detta vatten till de stora centrala reningsverken, se **Tabell 3** för beskrivning av samtliga scenarier och begränsningsnivån på utsläppet.

Tabell 3. Beskrivning av framtida scenarier, beskrivna i VAS rapporten 2013.

Scenarier	Beskrivning*	BOD7 rening till mg/L	Fosfor rening till mg/L	Kväve rening till mg/L
S1:A	Utsläpp 2030 med gällande villkor	8	0,3	10
S1:B	Utsläpp 2030 med samma reningsgrad som idag	2,5 – 6,8	0,10 – 0,36	7,9 – 12,9
S2	Utsläpp 2030 med ökad fosfor och kväverening	8	0,2	8
S3	Utsläpp 2030 med ytterligare ökad kväverening	8	0,2	6
S4	2030 Mindre reningsverk läggs ner och avloppsvattnet överförs till de större verken	8	0,2	8
S5	Utsläppspunkt utanför skärgården	0	0	0

* I samtliga scenarier ovan antas en befolkningsökning motsvarande alternativ hög

Även om utsläppet från de stora centrala reningsverken flyttas från befintligt utsläppsområde kommer det inte att medföra att en "god status" enligt miljö kvalitetsnormen kan nås för fosfor. Där emot kommer "god status" beträffande kväve att kunna uppnås redan i Halvkakssundet.

Utsläppen i ton/år kan beräknas utifrån ovan angivna utsläppshalter. Observeras bör att de utsläppta mängderna för alla scenarier utom S1B är beräknade utifrån angivna begränsningsvärden. S1B bygger på utsläppsmängden om reningsverken renar ner till samma nivåer som idag.

Tabell 4. Nuvarande sammanlagda utsläpp (ton/år) av fosfor, kväve och BOD₇ från de centrala reningsverken samt prognosticerade utsläpp 2030 enligt 6 scenarier.

	BOD7		Fosfor		Kväve	
	ton/år	ton/kvartal	ton/år	ton/kvartal	ton/år	ton/kvartal
2010	550	137	30	8	1770	442
2030 S1:A	1700	425	64	16	2150	537
2030 S1:B	700	175	36	9	2000	500
2030 S2	1700	425	43	11	1715	429
2030 S3	1700	425	43	11	1290	322
2030 S4	1950	472	48	12	1940	485
2030 S5	0	0	0	0	0	0

Sett till detta innebär de framtida scenarierna att om reningsverken har samma driftsmarginaler på sina utsläpp även framöver kommer de framtida utsläppen år 2030 knappt att öka. Sett till de mest troliga scenarierna 3 eller 4 kommer det för scenario 3 till och med innebära att en mindre mängd kväve släpps ut per år jämfört med år 2012.

Enskilda avlopp

De enskilda avloppen står för en stor del av påverkan på recipienterna i Stockholms län. Det var 2005 ca 5 % av befolkningen i Stockholms län som hade enskilt avlopp och dessa avlopp svarade vid denna tidpunkt för 54 % av den totala fosfor belastningen och 16 % av den totala kvävebelastningen¹² från den samlade avloppshanteringen i länet. De enskilda avloppen utgör därmed en stor belastningskälla och kan ha en helt avgörande betydelse för ett vattendrags kvalitet. En ökad anslutning av enskilda avlopp till de kommunala avloppsledningsnäten är utöver utbyggnaden av reningsverken, en viktig åtgärd för att minska näringsbelastningen till skärgården.

4.3 Framtida utsläpp från Käppalaverket

Käppalaförbundet kommer att söka tillstånd för att släppa ut 6 mg/l BOD₇, 6 mg/l N-tot och 0,2 mg/l tot-P. De föreslagna framtida begränsningsvärdena är lägre än vad som man har tillstånd att släppa ut idag. Fram till år 2030 är den prognosticerade ökningen av mängden inkommande vatten beräknat till 7 miljoner m³ mer än dagens inkommande flöde. De sänkta utsläppshalterna som föreslås gälla för tillståndet kompenserar mer än väl för detta beträffande utsläppet av kväve, BOD och fosfor där det förväntade framtida utsläppet blir lägre än dagens sett även till mängd om de halter som angetts i tillståndsansökan innehålls. Utgående mängd baseras på de halter som tillstånd söks för vilket innebär att utgående mängder sannolikt blir lägre än de som redovisas här.

Då ett reningsverk konstrueras ansätts driftsmedelvärden för att verksamheten skall kunna drivas med en marginal till tillståndsgivna halter. Utifrån de ansatta driftsmedelvärdena vid Käppalaverket då verksamheten är fullt utbyggd redovisas i **Tabell 5** det förväntade totala utsläppet år 2040 vid en fullt utbyggd verksamhet.

Tabell 5. Förväntat framtida maximalt utsläppta mängder från Käppalaverket utifrån prognosticerat flöde och halter som tillstånd söks för.

Parameter	Medel 2008-2012	2040 vid 900 000 pe	Nuvarande tillstånd
Inkommande flöden (Mm ³ /år)	54	72,3	-
BOD ₇ (ton/år)	146	72	700
Tot-P (kg/år)	11	11	-
Tot-N (ton/år)	469	366	700

Som framgår kommer utsläppet till recipienten att minska i framtiden trots fler anslutna personer och rening av mer vatten.

¹² VAS rådet Avloppsvattenrening i Stockholms län år 2030 – en översiktlig studie av hinder samt möjliga vägar framåt. VAS rådets rapport nr 1, 2006.

4.4 **Effekter i recipienten av rening av mer vatten men lägre utsläpp**

Här ges en prognos av vilka effekter som kan förväntas i recipienten av de förändringar som sker vid Käppalaverket och de andra centrala reningsverken. Det man sett hittills är att de minskade utsläppen som skett från de centrala reningsverken under senare år har medfört att andra faktorer har fått en större betydelse såsom koncentrationer i Mälarens utflöde och uppvällning.

Vid Käppalaverket kommer det att renas mer avloppsvatten samtidigt som det totala utsläppet förväntas att minska. Detta kommer att kunna bidra till en klart minskad belastning av näringsämnen och BOD i vattnet i den tredje strömmen, den s.k. avloppsvattenströmmen. I sin tur medför detta att halter av syretärande ämnen, närsalter och övriga komponenter med ursprung från Käppalaverket minskar i recipienten, relativt dagsläget.

Samtidigt visar beräkningar på att även ett nollutsläpp från de centrala reningsverken inte automatiskt skulle kunna ge en god status i den inre delen av Stockholmsskärgård. De minskade utsläpp från de stora reningsverken som nu är på gång får dock ses som ett steg på vägen mot en högre ekologisk status i Stockholms skärgård, men det finns många fler källor som behöver åtgärdas vilka även i takt med reningsverkens minskade utsläpp får en allt större betydelse.

Installation av en ny värmepump medför att temperaturen i utgående renat avloppsvatten sjunker till ca 8 °C, vilket medför en marginell ökning av densiteten hos vattnet, ca 0,5 kg/ton. I praktiken kan det leda till att vattnet skiktas in sig aningen djupare än tidigare. Vår bedömning är dock att det endast medför en marginell inverkan på vattenkvaliteten och det biologiska svaret.

Sammantaget medför därför de framtida utsläppen från Käppalaverket att också det biologiska svaret i Halvakassundet och längre ut, bör kunna utvecklas i en riktning som medför att miljökvalitetsnormerna kan uppnås.

4.4.1 **Klimatförändringar**

Klimatförändringarna kommer enligt prognoser att innebära högre ytvattentemperatur och därmed tydligare skiktning och även mer långvarig skiktning av vattnet i Mälaren. Syrebrist i Mälarens bottenvatten kan ge en högre frisättning av både fosfatfosfor och ammoniumkväve från bottensedimenten, vilket i sin tur kan ge ökad mängd växttillgänglig näring i vattnet.

Detta kommer sannolikt att medföra att vattnet som tappas från Mälaren efter höstomblandningen kan innehålla högre halter av växttillgängliga oorganiska näringsämnen än idag. Det i sin tur leder till en ökning av halten växttillgänglig näring i innerskärgårdens ytvatten då detta vatten kommer att lagras in i den utåtgående ytvattenströmmen. Konsekvenserna av detta begränsas sannolikt av att det sker under hösten då den biologiska aktiviteten är lägre. Påverkan på växtligheten i skärgården förutspås därför bli obetydlig och därmed sker inga

större förändringar beträffande planktonblomning till följd av detta. Samtidigt medför den stabilare skiktningen i Mälarovattnet att halterna av näringsämnen blir lägre i det urtappade vattnet under den skiktade perioden d.v.s. sommaren.

I motsats till Mälaren spelar temperaturen en mindre roll för skiktningens stabilitet i innerskärgården där den istället till största delen upprätthålls av saliniteten. Det är därför inte sannolikt att en ökad vattentemperatur kommer att påverka täthetsskiktningen och de olika strömmarnas djuputbredning och därmed fördelningen av näringsämnen i vattnet i den inre delen av skärgården.

4.4.2 **Biologiska förändringar**

Ett minskat flöde under sommaren även om det blir färre dagar med minimitappning kommer att innebära att andelen bottenvatten i innerskärgårdens ytvatten blir större och därmed kommer även uppvällningen av vatten från avloppsvattenströmmen att öka. Detta blir tydligast i den inre delen av skärgården och effekten förutspås bli relativt otydlig redan i Halvkakssundet och längre ut. Samtidigt kommer den minskade vårfloden att kunna få betydelse för hur stagnant bottenvattnet blir och därmed även syreförhållandena.

Det man hittills sett är att det inte bara är vårflodens storlek utan även hur sent på våren den inträffar som har stor betydelse för hur syreförhållandet i bottenvattnet blir under senare delen av sommaren. Trots förutspådda klimatförändringar och en delvis ändrad tappningsstrategi kommer detta sannolikt att fortsätta variera. Trenden med förbättrade syreförhållanden i bottenvattnet kan med tanke på den utsläppsreduktion som kommer att ske ges förutsättningar för att kunna bevaras förutsatt att vattenutbytet inte dramatiskt förändras.

Fortsatt förbättrade förhållanden i bottenvattnet kommer även kunna medföra att andelen störningstålig bottenfauna kan komma att fortsätta öka längre in i skärgården. Detta ger förutsättningar att kunna uppnå högre status än dagens måttliga status beträffande bottenfauna även i dessa delare av skärgården då återhämtning sker. Utvecklingen av plankton i vattenmassan styrs av tillgången på ljus och växttillgänglig näring. Minskad näring i Mälarens utlopp sommartid tack vare tidigare beskrivna stagnanta förhållanden tillsammans med minskade utsläpp av näringsämnen från de centrala reningsverken medför sannolikt att det inte kommer ske några dramatiska förändringar i planktonsamhället i framtiden.

4.4.3 **Slutsatser om framtiden**

Olika scenarier beroende på kommande klimatförändringar gör att det är svårt att helt förutspå effekterna i skärgården av en ändrad tappningsstrategi av Mälaren, klimatförändringar och ändrade utsläpp från exempelvis reningsverken men även från andra delar av samhället. Detta tillsammans med den komplexa strömningsbilden som föreligger i Stockholms skärgård gör att mycket av den framtida statusen i skärgården bygger på antaganden vilket även visas av olika teorier som framförs i olika utredningar. Här har redovisats de antaganden som anses mest sannolika att de inträffar. Effekterna av förändringarna är relativt otydliga och klimatförändringar om och när de sker kommer att ske gradvis varför inga dramatiska förändringar förväntas i närtid.