



Vattenriket i fokus 2024:05

Land, floder, hav

Mekanismer och åtgärder mot syrebrist och brunifiering

Johanna Sjöstedt och Anna Borgström



LUNDS
UNIVERSITET

Titel: Land, floder, hav
Utgiven av: Biosfärkontoret Kristianstads Vattenrike
Författare: Johanna Sjöstedt & Anna Borgström
Copyright: Biosfärkontoret Kristianstads Vattenrike
Upplaga: Endast pdf-version på vattenriket.kristianstad.se
Rapportserie: Rapportserien Vattenriket i fokus: 2024:05
ISSN: 1653-9338
Layout: Författarna
Omslagsbild: Anna Borgström

Innehåll

Förord	4
Sammanfattning	4
Inledning	5
Översikt	5
Transport av organiskt material och biotillgängligt kol till Östersjön	6
Våtmarkers förmåga att reducera näringsämnen, algbloomningar, vattenfärg, TOC och biotillgängligt kol	6
Optimering av våtmarker för reduktion av kväve, vattenfärg och TOC	7
Material och metod	8
Transport av organiskt material och biotillgängligt kol till Östersjön	8
Våtmarkers förmåga att reducera näringsämnen, algbloomningar, vattenfärg, TOC och biotillgängligt kol	8
Optimering av våtmarker för reduktion av kväve, vattenfärg och TOC	8
Resultat	9
Transport av organiskt material och biotillgängligt kol till Östersjön	9
Våtmarkers förmåga att reducera näringsämnen, algbloomningar, vattenfärg, TOC och biotillgängligt kol	10
Optimering av våtmarker för reduktion av kväve, vattenfärg och TOC	11
Diskussion	12
Referenser	14
Tack	16

Förord

Biosfärområde Kristianstads Vattenrike har under många år arbetat med vattnet i landskapet som ett fokusområde. Mycket arbete har gjorts under de senaste 20 åren för att försöka förstå processerna i vattnet och på land som påverkar mängden näring som så småningom når Östersjön. Stort fokus har även lagts på att förstå processerna kring och effekterna av det kraftigt brunfärgade vattnet som finns i Helge å.

Många våtmarker har anlagts inom området som ett verktyg för att minska brunifieringen och mängden näring som når Östersjön. Våtmarkerna är anlagda med olika metoder och utformningar och i olika landskapstyper.

I diskussionerna kring brunifiering framkommer sällan denna rapports synvinkel, nämligen att de bruna vattnen kan öka förekomsten av döda bottnar i havet. Kolet från det bruna vattnet påverkar i väldigt stor skala bristen på syre, vilket i sin tur styr förekomsten av döda bottnar med deras många negativa konsekvenser för havet.

Rapporten knyter ihop resultat från forskning med praktiska åtgärder i Vattenriket. Studien visar på komplexiteten när våtmarker anläggs för att få så många positiva miljöeffekter som möjligt. Svårigheter finns när alla aspekter som biologisk mångfald, näringsretention, minskad brunifiering, flödesutjämning med mera ska tas med i beräkningarna.

I rapporten ingår tre vetenskapliga studier där den ena beskriver olika vattendrags transport av organiskt material till Östersjön. De andra delarna beskriver anlagda våtmarkers förmåga att förbättra vattenkvaliteten ur ett brett perspektiv samt hur våtmarkerna kan utformas för att få optimal funktion för reduktion av kväve, vattenfärg och organiskt kol. Flera av våtmarkerna som ingår i rapporten är belägna inom Kristianstads Vattenrike.

Rapporten visar på våtmarkernas stora potential parallellt med svårigheterna att optimera många olika funktioner. Kunskapen från studien kommer att ingå i Vattenrikets ständiga strävan mot en friskare Östersjö.

Författaren ansvarar själv för innehållet i rapporten.

Per Torstensson

Limnolog

Biosfärkontoret Kristianstads Vattenrike

Sammanfattning

Syrenivåerna i världshaven minskar i en snabbare takt än vad som tidigare har uppmätts och fram till nästa århundrade förutspås 3-4% av syret ha gått förlorat. Trots många insatser för att reducera transporten av oorganiskt kväve och fosfor, och därmed övergödning, fortsätter syrefria och syrefattiga områden att breda ut sig i Östersjön. En bidragande faktor kan vara den ökande transporten av organiskt material från land vilket innehåller organiskt kväve och fosfor men till störst del består av kol. Biotillgängligt kol som transporteras ut i havet bryts ner av mikroorganismer och i Östersjön uppskattas denna nedbrytning förbruka 1 miljon ton syre om året. Förutom syrebrist bidrar transport av organiskt material även till brunifiering vilket innebär att vattenfärgen ökar dvs att vattnet blir brunare. Kunskap om vad som styr biotillgängligheten av organiskt kol och vilka åtgärder som kan vara effektiva för att begränsa transporten av organiskt kol till havet är fortfarande

begränsad. I detta projekt har vi 1) kartlagt transport av organiskt material och biotillgängligt kol till Östersjön och hur detta varierar över årstider och mellan år med olika markanvändning i avrinningsområdet, 2) utvärderat våtmarkers effektivitet för reduktion av näringsämnen, algblomningar, vattenfärg, totalt organiskt kol (TOC) och biotillgängligt kol samt 3) undersökt hur våtmarker ska konstrueras för att optimera nedbrytning av kol och näringsämnen samt reducera vattenfärg.

Projektet bidrar med kunskap om hur vi ska fokusera insatser för att begränsa transporten av näringsämnen och organisk kol till Östersjön och därmed skapa en bättre havsmiljö. De viktigaste slutsatserna är att transport av både organiskt material och biotillgängligt kol är generellt högst under vår, försommar och höst och det är därmed vid dessa tidpunkter som det är viktigt att optimera åtgärder. Det är ingen signifikant skillnad av transport av biotillgängligt kol mellan år med avrinningsområden dominerade av jordbruksmark respektive skog och åtgärder bör därför fokusera på båda typerna av år. Utvärdering av anlagda våtmarker visar att det är svårt att uppnå multifunktionalitet men eftersom våtmarker förlänger uppehållstiden av vattnet i landskapet finns det en potential för att reducera vattenfärg, TOC och biotillgängligt kol. Optimal uppehållstid varierar för olika parametrar och mellan säsonger vilket indikerar att för optimal funktion ska design anpassas efter rådande förutsättningar och det är därmed viktigt med uppföljning och utvärdering av anlagda våtmarker.

Inledning

Översikt

Den globala syrenivån i haven förväntas minska med 3-4% under nästa århundrade och redan idag har en minskning med 1-2% observerats (IUCN, 2019). Den rådande förklaringen till lägre syrenivåer är övergödning (Conley et al., 2009). Men trots många åtgärder för att reducera transporten av oorganiska näringsämnen till kustnära områden så ökar de syrefattiga och syrefria områdena i Östersjön. En förklaring kan vara den ökande transporten av löst organiskt material från land till akvatiska miljöer (Carstensen et al., 2014; Gustafsson et al., 2012). Det organiska materialet innehåller kväve och fosfor som kan bidra till ökad produktion av växtplankton och därmed övergödning (Conley et al., 2009; Gustafsson et al., 2012). Men till störst del består det organiska materialet av kol och när biotillgängligt kol används av bakterier förbrukas syre och denna process kan därmed leda till syrebrist i kustnära områden (Dagg et al., 2008). Förutom syrebrist bidrar organiskt material även till brunifiering vilket innebär att vattenfärgen ökar dvs att vattnet blir brunare. Detta beror på att organiskt material absorberar ljus och därmed minskar ljusgenomsläppningen vilket leder till lägre primärproduktion (Karlsson et al., 2009), lägre energiöverföring mellan olika nivåerna i näringsväven och därmed lägre produktion av fisk och skaldjur (Berglund et al., 2007; Sandberg et al., 2004). Syftet med detta projekt är att undersöka vilka faktorer som styr biotillgänglighet av kol och att utvärdera var och hur vi ska utföra åtgärder för att reducera transporten av organiskt material från land och till akvatiska miljöer (Östersjön) och därmed minska brunifiering och syrebrist.

Projektet är uppdelat på tre delprojekt med följande delmål:

- 1) kartlägga transport av organiskt material och biotillgängligt kol till Östersjön och hur denna varierar över årstider och mellan år med olika markanvändning i avrinningsområdet
- 2) utvärdera våtmarkers effektivitet för reduktion av näringsämnen, algblomningar, vattenfärg, totalt organiskt kol (TOC) och biotillgängligt kol
- 3) undersöka om våtmarkers effektivitet kan optimeras för reduktion av kväve, vattenfärg och TOC genom att variera djup och omsättningstid under olika årstider.

Transport av organiskt material och biotillgängligt kol till Östersjön

Kolsammansättningen och koncentrationen av näringsämnen skiljer sig mellan år med olika avrinningsområden (Autio et al., 2016; Lu et al., 2015; Sepp et al., 2019), och dessa variationer påverkar troligtvis både mängden organiskt kol som transporteras och biotillgängligheten av kol. För att bestämma biotillgängligheten av organiskt kol som transporteras till Östersjön behöver därför nedbrytningen och syrekonsumtionen bestämmas. Tidigare studier har fokuserat på ett fåtal provtagningsplatser eller tidpunkter (Reader et al., 2014) och därmed inte kunna bestämma vilka faktorer som avgör biotillgängligheten. I detta delprojekt kommer vi med hjälp av syresensorer att kartlägga biotillgänglighet i å-mynningar till år med olika avrinningsområden och under olika årstider. Detta kommer att generera data med spatial och temporal upplösning som är nödvändig för att förstå hur flera faktorer (koncentration av näringsämnen samt koncentration och sammansättning av organiskt kol) samverkar och kontrollerar biotillgänglighet.

Vi kommer att fokusera på år i södra Sverige eftersom det är i denna region som de högsta förändringarna i koncentration av organiskt material och vattenfärg har noterats (Kritzberg et al., 2019). Dessutom har nya syrefria områden upptäckts i egentliga Östersjön framför allt i Hanöbukten, Bornholmshavet och Gdanskbukten (Hansson et al., 2019), och syrefria områden har tidigare noterats i kustområden i Lilla och stora bält, Kattegatt och Öresund och dessa områden kan förväntas öka i storlek (Conley et al., 2011).

Våtmarkers förmåga att reducera näringsämnen, algbloomningar, vattenfärg, TOC och biotillgängligt kol

Under de senaste 10 åren har flera hundra våtmarker anlagts i hela Sverige. Våtmarker är naturresurser av stor betydelse för människor och används alltmer som en åtgärd i lokal skala där syftet med våtmarkerna har varit att öka den biologiska mångfalden och att minska övergödningen (Land et al., 2016; Verhoeven & Setter, 2010). Flera studier har fokuserat på våtmarkers förmåga att minska transporten av näringsämnen (Cheng et al., 2020; Ge et al., 2019; Hoffmann & Baatrup-Pedersen, 2007), men det finns begränsad information angående våtmarkers potential att minska vattenfärg och koncentrationen av biotillgängligt kol. I detta delprojekt kommer vi att utvärdera multifunktionalitet i våtmarker genom att provta 9 våtmarker med olika design, ålder, storlek och markanvändning. Flertalet processer i våtmarker tar naturligt bort näringsämnen, exempelvis genom bindning till partiklar, sedimentering eller upptag av makrofyter, växtplankton och mikroorganismer (Griffiths & Mitsch, 2020; Levi et al., 2015; Seitzinger et al., 2006; Walton et al., 2020).

Mikroorganismerna förbrukar både löst organiskt kol och näringsämnen. UV-strålning bryter bindningarna hos komplexa kolföreningar (fotooxidation) vilket leder till att det organiska materialet blir mer lättillgängligt för konsumtion av mikroorganismer (mikrobiell nedbrytning) (Cory et al., 2014; Evans et al., 2017; Koehler et al., 2014).

Både fotooxidation och mikrobiell nedbrytning är beroende av vattnets uppehållstid (Algesten et al., 2004; Weyhenmeyer et al., 2012). Eftersom våtmarker ökar vattnets uppehållstid är det möjligt att de, beroende på var och hur de är konstruerade, kan minska vattenfärgen och koncentrationen av biotillgängligt kol. Detta innebär att våtmarker kan ha en outforskad multifunktionell potential, eftersom flertalet av processerna involverade i reduktion av kol, vattenfärg och näringsämnen är kopplade till vattnets uppehållstid. Därav är det möjligt att våtmarker kan motverka ökningen av näringsämnen, vattenfärg och kol samtidigt.

Det är dessutom möjligt att våtmarker som reducerar näringsämnen kan bidra till minskad

algtillväxt eftersom växtplankton behöver näringsämnen för tillväxt. Detta innebär att våtmarker bör kunna reducera risken för algbloomning i sjöar om vattnet först passerar en välfungerande våtmark där näringsämnen och kol minskar.

Optimering av våtmarker för reduktion av kväve, vattenfärg och TOC

Anlagda våtmarker har effektivt använts för att reducera näringsämnen och studier har fokuserat på hur våtmarker ska vara designade för att uppnå maximalt upptag av kväve och fosfor. De tre huvudparametrarna för borttagning av näringsämnen i våtmarker är uppehållstid (Liu et al., 2016; Liu et al., 2014), vegetationstäckning (Aldred & Baines, 2016; Weisner & Thiere, 2010) och koncentration av näringsämnen i vattnet i inflödet (Kim et al., 2017; Song et al., 2019). Mer forskning behövs dock för att kartlägga vilka parametrar som är viktiga för reduktion av vattenfärg och totalt organiskt kol (TOC). I detta delprojekt undersöker vi möjligheten att öka effektiviteten genom att optimera djup och uppehållstid i förhållande till säsongsvariationer i solinstrålning och bakteriell aktivitet.

Material och metod

Detta projekt består av tre delprojekt där olika metoder för datainsamling och analys har använts. Material och metod redovisas därför för de olika delprojekten separat.

Transport av organiskt material och biotillgängligt kol till Östersjön

Transport av organiskt material och biotillgängligt kol till Östersjön har kartlagts genom att provta nio åmynningar vid fem tillfällen under 2020. Åarna har olika avrinningsområden och varierar från en dominans av jordbruksmark till dominans av skogsbruk. Vid varje provtagning har respiration dvs syreförbrukning till följd av nedbrytning av organiskt material mätts med syresensorer (SensorDish Readers, PreSense) (Soares et al., 2018). Koncentrationen av löst kol samt kväve och fosfor bestämdes och sammansättningen av det organiska materialet har karakteriserats med hjälp av spektroskopiska tekniker (absorbans och fluorescens). Detta ger information om ursprung och den kemiska sammansättningen (Fellman et al., 2010; Helms et al., 2008; McKnight et al., 2001; Weishaar et al., 2003).

Betydelsen av koncentration av näringsämnen och sammansättning av det organiska materialet utvärderades med regressioner. Skillnader i koncentrationer av kol och näringsämnen samt syrekonsumtion mellan olika månader och år med olika avrinningsområden utvärderades med ANOVA. För detaljerad metodbeskrivning se (Jones et al., 2023).

Våtmarkers förmåga att reducera näringsämnen, algbloomningar, vattenfärg, TOC och biotillgängligt kol

Våtmarkers förmåga att reducera näringsämnen, algbloomningar, vattenfärg samt biotillgängligt kol har studerats genom att provta in- och utflöden till våtmarker i och i närheten av Kristianstad vattenrike. Koncentration av totalt kväve, total fosfor och TOC samt vattenfärg (absorbans vid 420 nm) har analyserats i både in- och utflöde av 9 våtmarker. Vid varje provtagningstillfälle mättes vattenarean i in- och utflöde och vattenflödet mättes med en flödesmätare (flowtherm NT, Höntzsch) för att flödeskompensera uppmätta värden av totalt kväve, total fosfor och TOC för vardera våtmark. Om de uppmätta värdena är lägre i utflödet innebär det att våtmarken reducerar parametern. För detaljerad metodbeskrivning se (Borgström et al., 2024).

För algbloomningar har klorofyll a samt olika grupper av växtplankton (grönalger och cyanobakterier) analyserats i vatten från inflöde och utflöde av 7 våtmarker vid provtagningstillfället samt efter två veckor för att undersöka tillväxtpotentialen. Detta gjordes genom en uppsättning av algkulturflaskor där filtrerat vatten från respektive våtmarks in- eller utflöde blandades i ett 50:50 ratio med vatten från Östra Ringsjön. Sen fick algkulturerna växa under två veckor i ett konstantrum med en 12h/12h dygnsykel och en konstant temperatur av 20°C innan koncentrationen av klorofyll a, grönalger och cyanobakterier mättes på nytt. Vattnet filtrerades för att minska betestrycket från djurplankton. Koncentrationen av växtplankton mättes med hjälp av en AlgaeLabAnalyser (ALA) via fluorescens. För detaljerad metodbeskrivning se (Borgström et al., 2022).

Analyser för näringsämnen, vattenfärg, TOC och algbloomningar har utförts en gång i månaden under 18 månader. Dessutom har biotillgängligt kol och syrekonsumtion studerats i inflöde och utflöde till fyra våtmarker under ett år.

Optimering av våtmarker för reduktion av kväve, vattenfärg och TOC

Detta delprojekt har utförts i Högskolan i Halmstads experimentella våtmarksanläggning som omfattar 18 replikerade 25m² -våtmarker. För varje våtmark är det möjligt att justera flöde och djup (volym). Tillflödet till våtmarkerna kommer från jordbruksmark och har därmed höga

kvävekoncentrationer men låga DOC koncentrationer. I experimentet användes tre olika behandlingar; 1) kontroll utan tillsatts av organiskt material, 2) grund brun med tillsats av organiskt material samt 3) djup brun med tillsats av organiskt material. Organiskt material extraherades från torv och tillsattes till de bruna behandlingarna. Effekten av uppehållstid studerades genom att ta prover vid olika tidpunkter. För att utvärdera hur våtmarker bör konstrueras för att så effektivt som möjligt minska kväve, DOC, vattenfärg och biotillgängligt kol jämfördes dessa parametrar i vatten från de olika behandlingarna över tiden.

Dessutom analyserades sammansättning av löst organiskt kol med hjälp av absorbans och fluorescens för att undersöka vikten av fotooxidation respektive bakteriell nedbrytning (Helms et al., 2008). Experimentet genomfördes i juni och november och resultaten jämfördes för att förstå eventuella årstidseffekter och effekter av hög respektive låg solinstrålning.

Resultat

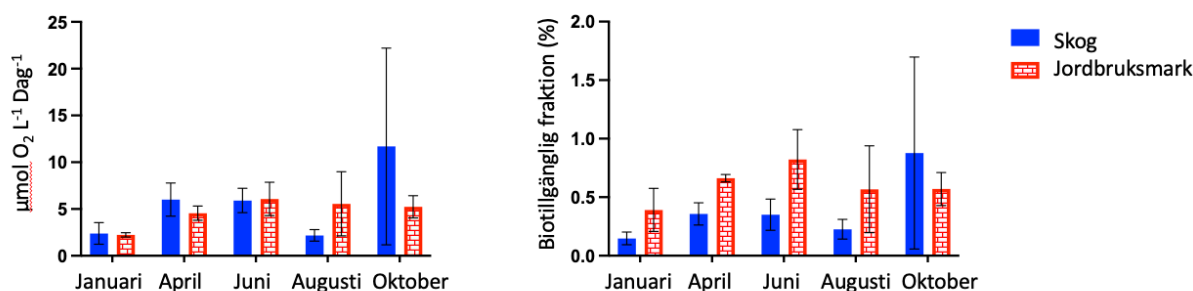
Transport av organiskt material och biotillgängligt kol till Östersjön

Denna studie utfördes 2020 och är baserad på fem provtagningar (januari, april, juni, augusti och oktober) i 9 åmynningar. De 9 åarna rinner ut i Östersjön och valdes ut för att omfatta avrinningsområden med sammansättning som varierade från dominans av jordbruk till dominans av skog. Syftet var att undersöka säsongvariation och inverkan av avrinningsområdets sammansättning på transport av organiskt material samt hur koncentration av näringsämnen och sammansättning av kolföreningar påverkar biotillgängligheten av kol.

De högsta koncentrationerna av organiskt kol uppmättes i april, juni eller oktober i år med avrinningsområden dominerade av skog, medan år med avrinningsområde dominerat av jordbruksmark hade högsta koncentrationer i augusti eller oktober. Koncentrationen av totalt kväve var betydligt högre i april jämfört med andra månader i alla år. Koncentrationen av total fosfor var däremot högst i juni eller augusti. Under alla månader utom januari och april var halterna av fosfor högre i år med jordbruksdominerade avrinningsområden än i år med skogsdominerade avrinningsområden.

Biotillgängligheten av kol och därmed syreförbrukningen var högst under april, juni och oktober för de flesta år. Där vara bara en signifikant skillnad i biotillgänglighet och syrekonsumtion mellan år med avrinningsområden dominerade av jordbruksmark respektive skog i augusti och då var biotillgängligheten högst i år dominerade av jordbruksmark. Däremot var den biotillgängliga fraktionen, dvs hur många procent av kolet som används av mikroorganismer, signifikant högre i år med jordbruks jämfört med skogsdominerade avrinningsområden under januari, april, juni och augusti.

Detta tyder på sammansättningen av det organiska materialet skiljer mellan år med olika avrinningsområden. År med dominans av skog i avrinningsområdet transporter höga koncentrationer av svårnedbrutet kol, medan år med jordbruksdominerade avrinningsområden har lägre koncentrationer men en högre andel biotillgängligt kol. Skillnaden i både koncentration och sammansättning är troligtvis förklaringen till att det vid de flesta tidpunkter inte är någon signifikant skillnad i syreförbrukning per L och dag. För att avgöra vilken situation som har störst påverkan i kustzonerna behövs fler studier som fokuserar på effekten av avrinningsområdets sammansättning.



Figur 1. Variation i biotillgänglighet (syrenedbrytning) och biotillgänglig fraktion under olika säsonger och mellan år med avrinningsområde med dominans av skog respektive jordbruksmark.

En annan faktor att ta hänsyn till för att kartlägga inverkan på syreförbrukningen i kustnära områden är flödet. För de studerade åarna är flödet generellt högre för år med skogsdominerade avrinningsområden än för år med jordbruksdominerade avrinningsområden. Detta leder troligtvis till att transporten från år med skogsdominerade avrinningsområden har större inverkan på syreförbrukningen i kustnära områden.

Resultaten visar dessutom att biotillgängligheten styrs av olika faktorer under olika månader och i år med olika avrinningsområden. Generellt verkar biotillgängligheten påverkas mest av koncentrationen av kol och näringsämnen medan den biotillgängliga fraktionen påverkas av kolsammansättningen och koncentrationen av näringsämnen.

Baserat på resultat från denna studie ska åtgärder för att minska transport av kol till kustnära områden och därmed syrekonsumtionen fokusera på insatserna under våren och hösten då kolutnyttjandet är högst och mest varierande. Åtgärder kommer troligtvis också ha mest effekt om de utförs i år med avrinningsområden dominerade av skogsmark.

Våtmarkers förmåga att reducera näringsämnen, algbloomningar, vattenfärg, TOC och biotillgängligt kol

Våtmarkerna visade en hög variation i reduktionen av totalt kväve, total fosfor, vattenfärg och TOC. Några våtmarker reducerade alla parametrarna simultant (generalister), andra reducerade näringsämnen, TOC eller vattenfärg (specialister) medan andra våtmarker var mindre effektiva för reduktion av näringsämnen och kol (se tabell 1). Specialistvåtmarkerna var effektivare att reducera någon av parametrarna, medan generalistvåtmarkerna reducerade alla parametrar men med lägre effektivitet. Den högsta effektiviteten hos våtmarkerna var under sommarmånaderna vid konstant vattenflöde genom våtmarkerna. Våtmarkerna som var minst effektiva var oftast våtmarker som torkade ut eller inte hade något flöde genom våtmarken under stora delar av året.

Resultaten visar att det finns en potential för multifunktionalitet hos vissa, men inte alla, våtmarker vilket tyder på att våtmarker kan mildra effekten av både brunifiering och övergödning samtidigt, men det är ingen garanti.

Tabell 1. Våtmarkerna visade en variation i reduktion av totalt kväve, total fosfor, totalt organiskt kol och vattenfärg. Tabellen visar nettominskning (-) eller nettoökning (+) av vattenkvalitéparametrarna under 18 månader för 9 våtmarker.

Våtmark	Total kväve	Total fosfor	Total organiskt kol	Vattenfärg
<i>Fjelkner</i>	-	-	-	+
<i>Gårdstånga</i>	+	+	+	+
<i>Hinnedal</i>	-	-	-	-
<i>Ljungen</i>	+	+	-	+
<i>Lommarp</i>	-	-	-	-
<i>Perstorp</i>	+	+	+	+
<i>Toarp</i>	+	+	+	-
<i>Venestad</i>	+	+	+	+
<i>Viderup</i>	+	+	+	+

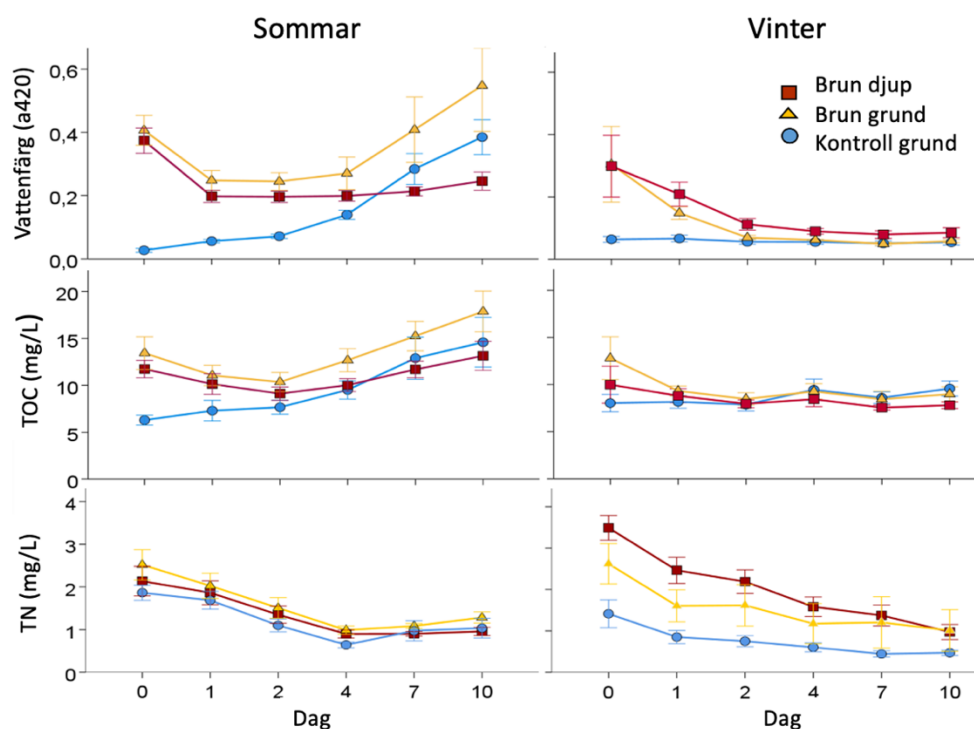
Resultaten visar även att våtmarker med torv i tillrinningsområdet har högre vattenfärg och TOC i inflödande vatten, men lägre totalt kväve än våtmarker utan torv. Ytterligare har våtmarker med mycket jordbruk högre inflöde av totalt kväve medan våtmarker med mycket granskog eller blandad skog har högre inflöde av vattenfärg och TOC.

Våtmarkerna reducerade även tillväxtpotentialen av växtplankton (grönalger, cyanobakterier och totalt klorofyll). Våtmarker med jordbruk och betesmark har en större variation i tillväxtpotential än våtmarker med avrinningsområde dominerat av skog. Dessutom visar resultat från provtagning av fyra våtmarker under ett år att våtmarker även har potential att reducera biotillgängligt kol.

Optimering av våtmarker för reduktion av kväve, vattenfärg och TOC

Syftet med denna studie var att undersöka om det är möjligt att optimera våtmarker för reduktion av vattenfärg, TOC och biotillgängligt kol genom att variera djup och uppehållstid i förhållande till årstidsvariationer i solinstrålning och bakteriell nedbrytning. Experimentet utfördes i juni och november 2023 för att få så stor variation som möjligt i solinstrålning.

Resultaten visar att optimal uppehållstid varierar för olika parametrar och under olika årstider. Under sommaren är den optimala uppehållstiden för kväve 4 dagar, vattenfärg 1 dag och TOC 2 dagar. Under vintern är den optimala uppehållstiden istället 2 dagar för vattenfärg och en dag för TOC. Koncentrationen av kväve minskade däremot under hela experimentet och optimal uppehållstid verkar därmed vara längre än 10 dagar. Under sommaren verkar det dessutom som att en längre uppehållstid än den optimala kan leda till att både vattenfärg och TOC ökar. Detta är mest påtagligt i de grunda våtmarkerna (0,4 m) men sker även i viss utsträckning i de djupa våtmarkerna (0,8m).



Figur 2. Förändring i vattenfärg, koncentration av kol (TOC) och kväve (TN) över tiden i tre olika behandlingar i experimentella våtmarker under sommar (juni) och vinter (november).

Nedbrytning av kol sker antingen via fotooxidation eller bakteriell nedbrytning. Baserat på absorptions- och fluorescensmätningar kunde vi avgöra att den dominerande nedbrytningsprocessen är fotooxidation under båda årstiderna samt att mikrobiell nedbrytning var högre i juni än i november.

Diskussion

Resultat från de tre delprojekten ska tillsammans ge information om när, var och hur förvaltningsinsatser ska genomföras för att minska transport av organiskt material från land till akvatiska miljöer.

Baserat på de provtagna åarna så var generellt vår (april), försommar (juni) och höst (oktober) de perioder med högst transport av organiskt material och biotillgängligt kol och därmed de tidpunkter då åtgärder bör optimeras. Våren och hösten är perioder med intensiv belastning. När marken tinar efter vintern ökar rörlighet och transport av kol från marken medan under hösten är belastning hög på grund av högre nederbörd. Förvaltningsinsatser bör även fokusera på åar med både skogs- och jordbruksdominerade avrinningsområden eftersom åar i skogslandskap transporterar höga koncentrationer av organiskt material medan åar i jordbrukslandskap transporterar mer labila fraktioner (Jones et al., 2023).

Resultat från delprojekt I visar också att tillgången på näringsämnen var en drivande faktor som styrde både biotillgänglighet och den biotillgängliga fraktionen. Vilket näringsämne som påverkade den biotillgängliga fraktionen varierade mellan årstider. I sötvatten betraktas i allmänhet fosfor som det begränsande näringsämnet, men fosfor bidrog bara väsentligt under juni medan under april och

augusti var kväve det näringsämne som bidrog till den biotillgängliga fraktionen. Detta innebär att reduktion av näringsämneskoncentrationer också kan leda till lägre biotillgänglighet och därmed lägre syreförbrukning. Resultaten belyser också att både koncentrationen och sammansättningen av kol påverkar biotillgängligheten respektive den biotillgängliga fraktionen (Jones et al., 2023).

Både vattenfärg och koncentration av kol är beroende av uppehållstid i vattendrag och åtgärder som leder till ökad uppehållstid kan därmed vara fördelaktigt för att minska transporten av kol. Våtmarker är en åtgärd som kan öka uppehållstiden av vatten i landskapet. För närvarande har förvaltningsinsatser använt konstruerade våtmarker för att behålla näringsämnena och studier har fokuserat på hur våtmarker ska vara designade för att uppnå maximalt upptag av kväve och fosfor. Förvånansvärt lite är däremot känt om den korrekta designen för att optimera våtmarker för kolupptag och sekvestrering. I delprojekt II studerade vi multifunktionalitet i våtmarker och vissa, men inte alla, visar på en multifunktionell potential. Det är dock en stor variation i våtmarkers effektivitet gällande reducering av näringsämnena, vattenfärg och TOC, vilket inte kan förklaras enbart av säsongsvariation, våtmarksdesign eller tillrinningsområde. Flera av våtmarkerna är effektiva på att reducera enstaka parametrar och reducerar dessa med högre effektivitet. Därav är multifunktionalitet inom våtmarker troligtvis svårt att uppnå sett till näringsämnena, TOC och vattenfärg, men inte omöjligt. De multifunktionella våtmarkerna visar en lägre effektivitet i reduktion av vattenkvalitetsparametrarna, vilket innebär att dessa våtmarker kanske inte är det bästa alternativet i områden som exempelvis är kraftigt övergödda (Borgström et al., 2024).

Ytterligare visar resultaten på vikten av att ha ett konstant flöde i våtmarkerna. Våtmarkerna som torkade ut under stora delar av året visade en lägre effektivitet än våtmarkerna som hade vatten hela året. Näringsämnena kan läcka från sedimenten när en våtmark torkat ut och sen återväts, vilket belyser vikten av att våtmarker designas för att ha ett konstant vattenflöde under stora delar av året och på så vis motverkar torka. Ur ett klimatperspektiv kan det komma att bli ännu viktigare med våtmarker som har vatten konstant. Detta eftersom framtida prognoser spår att de varma årstiderna kan bli ännu torrare och de kalla årstiderna ännu blötare, med mer extrema skiftningar i vädret. Våtmarker med ett kontinuerligt vattenflöde kommer ha en högre potential att bibehålla ekosystemtjänster i framtida klimatförändringssammanhang (Borgström et al., 2024). Resultaten belyser även potentialen av att använda våtmarker för att minska risken för algbloomning i mottagande vattendrag (Borgström et al., 2022).

Delprojekt III fokuserar på optimering av våtmarker för reduktion av kväve, TOC och vattenfärg. Precis som resultaten från delprojekt II visar dessa resultat att det är svårt att optimera reduktion av flera parametrar samtidigt. Optimal uppehållstid varierade för de olika parametrarna och mellan sommar och vintersäsong. Detta indikerar att för optimal funktion ska design anpassas efter rådande förutsättningar. Under sommaren är det speciellt viktigt att anpassa uppehållstiden eftersom för lång uppehållstid kan leda till frisättning istället för upptag av kol. Detta problem var större i grunda än i djupa våtmarker.

Sammanfattningsvis visar våra resultat att det är viktigt med uppföljning och utvärdering av våtmarker för att utöka vår förståelse för under vilka förutsättningar våtmarker är effektiva för reduktion av olika parametrar. Vidare forskning bör undersöka placering av våtmarker, betydelsen av markens sammansättning samt hur olika typer av våtmarker kan användas tillsammans inom ett avrinningsområde.

Referenser

- Algesten G, Sobek S, Bergström A K, Agren A, Tranvik L J, Jansson M. 2004. Role of lakes for organic carbon cycling in the boreal zone. *Global Change Biology*, 10(1), 141-147. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2003.00721.x>
- Allred M, & Baines S B. 2016. Effects of wetland plants on denitrification rates: a meta-analysis. *Ecological Applications*, 26(3), 676-685. <https://doi.org/10.1890/14-1525>
- Autio I, Soine H, Helin J, Asmala E, Hoikkala L. 2016. Effect of catchment land use and soil type on the concentration, quality, and bacterial degradation of riverine dissolved organic matter. *Ambio*, 45(3), 331-349. <https://doi.org/10.1007/s13280-015-0724-y>
- Berglund J, Muren U, Bamstedt U, Andersson A. 2007. Efficiency of a phytoplankton-based and a bacteria-based food web in a pelagic marine system. *Limnology and Oceanography*, 52(1), 121-131. <https://doi.org/10.4319/lo.2007.52.1.0121>
- Borgström A, Hansson L A, Klante C, Sjöstedt J. 2024. Wetlands as a potential multifunctioning tool to mitigate eutrophication and brownification. *Ecological Applications*, 34(2). <https://doi.org/10.1002/eap.2945>
- Borgström A, Hansson L A, Sjöstedt J. 2022. Wetlands as a Local Scale Management Tool to Reduce Algal Growth Potential. *Wetlands*, 42(8), Article 123. <https://doi.org/10.1007/s13157-022-01640-9>
- Carstensen J, Andersen J H, Gustafsson B G, Conley D J. 2014. Deoxygenation of the Baltic Sea during the last century. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 111(15), 5628-5633. <https://doi.org/10.1073/pnas.1323156111>
- Cheng F Y, Van Meter K J, Byrnes D K, Basu N B. 2020. Maximizing US nitrate removal through wetland protection and restoration. *Nature*, 588(7839), 625-+. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-03042-5>
- Conley D J, Björck S, Bonsdorff E, Carstensen J, Destouni G, Gustafsson B G, Hietanen S, Kortekaas M, Kuosa H, Meier H E M, Muller-Karulis B, Nordberg K, Norkko A, Nürnberg G, Pitkanen H, Rabalais N N, Rosenberg R, Savchuk O P, Slomp C P, Voss M, Wulff F, Zillen L. 2009. Hypoxia-Related Processes in the Baltic Sea. *Environmental Science & Technology*, 43(10), 3412-3420. <https://doi.org/10.1021/es802762a>
- Conley D J, Carstensen J, Aigars J, Axe P, Bonsdorff E, Eremina T, Haahti B M, Humborg C, Jonsson P, Kotta J, Lannegren C, Larsson U, Maximov A, Medina M R, Lysiak-Pastuszek E, Remeikaite-Nikiene N, Walve J, Wilhelms S, Zillen L. 2011. Hypoxia Is Increasing in the Coastal Zone of the Baltic Sea. *Environmental Science & Technology*, 45(16), 6777-6783. <https://doi.org/10.1021/es201212r>
- Cory R M, Ward C P, Crump B C, Kling G W. 2014. Sunlight controls water column processing of carbon in arctic fresh waters. *Science*, 345(6199), 925-928. <https://doi.org/10.1126/science.1253119>
- Dagg M, Sato R, Liu H B, Bianchi T S, Green R, Powell R. 2008. Microbial food web contributions to bottom water hypoxia in the northern Gulf of Mexico. *Continental Shelf Research*, 28(9), 1127-1137. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2008.02.013>
- Evans C D, Futter M N, Moldan F, Valinia S, Frogbrook Z, & Kothawala D N. 2017. Variability in organic carbon reactivity across lake residence time and trophic gradients. *Nature Geoscience*, 10(11), 832-835. <https://doi.org/10.1038/ngeo3051>
- Fellman J B, Hood E, Spencer R G M. 2010. Fluorescence spectroscopy opens new windows into dissolved organic matter dynamics in freshwater ecosystems: A review. *Limnology and Oceanography*, 55(6), 2452-2462. <https://doi.org/10.4319/lo.2010.55.6.2452>
- Ge Z B, Wei D Y, Zhang J, Hu J S, Liu Z, Li R H. 2019. Natural pyrite to enhance simultaneous long-term nitrogen and phosphorus removal in constructed wetland: Three years of pilot study. *Water Research*, 148, 153-161. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.10.037>
- Griffiths L N, & Mitsch W J. 2020. Nutrient retention via sedimentation in a created urban stormwater treatment wetland. *Science of the Total Environment*, 727, Article 138337. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138337>
- Gustafsson B G, Schenk F, Blenckner T, Eilola K, Meier H E M, Muller-Karulis B, Neumann T, Ruoho-Airola T, Savchuk O P, Zorita E. 2012. Reconstructing the Development of Baltic Sea Eutrophication 1850-2006. *Ambio*, 41(6), 534-548. <https://doi.org/10.1007/s13280-012-0318-x>

- Hansson M, Viktorsson L, Andersson L. 2019. *Oxygen Survey in the Baltic Sea 2019 - Extent of Anoxia and Hypoxia, 1960-2019*.
- Helms J R, Stubbins A, Ritchie J D, Minor E C, Kieber D J, Mopper K. 2008. Absorption spectral slopes and slope ratios as indicators of molecular weight, source, and photobleaching of chromophoric dissolved organic matter. *Limnology and Oceanography*, 53(3), 955-969. <https://doi.org/10.4319/lo.2008.53.3.0955>
- Hoffmann C C & Baattrup-Pedersen A. 2007. Re-establishing freshwater wetlands in Denmark. *Ecological Engineering*, 30(2), 157-166. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2006.09.022>
- IUCN. (2019). *Ocean deoxygenation: Everyone's problem Causes, impacts, consequences and solutions*.
- Jones K, Berggren M, Sjöstedt, J. 2023. Seasonal variation and importance of catchment area composition for transport of bioavailable carbon to the Baltic Sea. *Biogeochemistry*, 165(3), 265-276. <https://doi.org/10.1007/s10533-023-01079-y>
- Karlsson J, Bystrom P, Ask J, Ask P, Persson L, Jansson M. 2009. Light limitation of nutrient-poor lake ecosystems. *Nature*, 460(7254), 506-U580. <https://doi.org/10.1038/nature08179>
- Kim H, Ogram A, Bae H S. 2017. Nitrification, Anammox and Denitrification along a Nutrient Gradient in the Florida Everglades. *Wetlands*, 37(2), 391-399. <https://doi.org/10.1007/s13157-016-0857-1>
- Koehler B, Landelius T, Weyhenmeyer G A, Machida N, Tranvik, L J. 2014. Sunlight-induced carbon dioxide emissions from inland waters. *Global Biogeochemical Cycles*, 28(7), 696-711. <https://doi.org/10.1002/2014gb004850>
- Kritzberg E S, Hasselquist E M, Skerlep M, Lofgren S, Olsson O, Stadmark J, Valinia S, Hansson L-A, Laudon H. 2019. Browning of freshwaters: Consequences to ecosystem services, underlying drivers, and potential mitigation measures. *Ambio*. <https://doi.org/10.1007/s13280-019-01227-5>
- Land M, Graneli W, Grimvall A, Hoffmann C C, Mitsch W J, Tonderski K S, Verhoeven J T A. 2016. How effective are created or restored freshwater wetlands for nitrogen and phosphorus removal? A systematic review. *Environmental Evidence*, 5(9), (9 May 2016). <Go to ISI>://CABI:20163209788
- Levi P, Riis T, Alnoe A, Peipoch M, Maetzke K, Bruus C, Baattrup-Pedersen A. 2015. Macrophyte Complexity Controls Nutrient Uptake in Lowland Streams. *Ecosystems*, 18(5), 914-931. <https://doi.org/10.1007/s10021-015-9872-y>
- Liu J J, Dong B, Guo C Q, Liu F P, Brown L, Li Q. 2016. Variations of effective volume and removal rate under different water levels of constructed wetland. *Ecological Engineering*, 95, 652-664. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.06.122>
- Liu Y, Zhang J X, Zhang X L, Xie S G. 2014. Depth-related changes of sediment ammonia-oxidizing microorganisms in a high-altitude freshwater wetland. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 98(12), 5697-5707. <https://doi.org/10.1007/s00253-014-5651-5>
- Lu Y H, Li X P, Mesfioui R, Bauer J E, Chambers R M, Canuel E A, Hatcher P G. 2015. Use of ESI-FTICR-MS to Characterize Dissolved Organic Matter in Headwater Streams Draining Forest-Dominated and Pasture-Dominated Watersheds. *Plos One*, 10(12), 21, Article e0145639. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0145639>
- McKnight D M, Boyer E W, Westerhoff P K, Doran P T, Kulbe T, Andersen D T. 2001. Spectrofluorometric characterization of dissolved organic matter for indication of precursor organic material and aromaticity. *Limnology and Oceanography*, 46(1), 38-48. <Go to ISI>://WOS:000166605800004
- Reader H E, Stedmon C A, Kritzberg E S. 2014. Seasonal contribution of terrestrial organic matter and biological oxygen demand to the Baltic Sea from three contrasting river catchments. *Biogeosciences*, 11(12), 3409-3419. <https://doi.org/10.5194/bg-11-3409-2014>
- Sandberg J, Andersson A, Johansson S, Wikner J. 2004. Pelagic food web structure and carbon budget in the northern Baltic Sea: potential importance of terrigenous carbon. *Mar Ecol Prog Ser*, 268, 13-29.
- Seitzinger S, Harrison J A, Böhlke J K, Bouwman A F, Lowrance R, Peterson B, Tobias C, Van Drecht G. 2006. Denitrification across landscapes and waterscapes: A synthesis. *Ecological Applications*, 16(6), 2064-2090. [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(2006\)016\[2064:Dalawa\]2.0.Co;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(2006)016[2064:Dalawa]2.0.Co;2)
- Sepp M, Koiv T, Nöges P, Nöges T. 2019. The role of catchment soils and land cover on dissolved organic matter (DOM) properties in temperate lakes. *Journal of Hydrology*, 570, 281-291.

- Soares A R A, Kritzberg E S, Custelcean I, Berggren M. 2018. Bacterioplankton Responses to Increased Organic Carbon and Nutrient Loading in a Boreal Estuary-Separate and Interactive Effects on Growth and Respiration. *Microbial Ecology*, 76(1), 144-155. <https://doi.org/10.1007/s00248-017-1115-7>
- Song X J, Ehde P M, Weisner S E B. 2019. Effects of Water Depth and Phosphorus Availability on Nitrogen Removal in Agricultural Wetlands. *Water*, 11(12), Article 2626. <https://doi.org/10.3390/w11122626>
- Verhoeven J T A & Setter T L. 2010. Agricultural use of wetlands: opportunities and limitations. *Annals of Botany*, 105(1), 155-163. <https://doi.org/10.1093/aob/mcp172>
- Walton C R, Zak D, Audet J, Petersen R J, Lange J, Oehmke C, Wichtmann W, Kreyling J, Grygoruk M, Jablonska E, Kotowski W, Wisniewska M M, Ziegler R, Hoffmann C C. 2020. Wetland buffer zones for nitrogen and phosphorus retention: Impacts of soil type, hydrology and vegetation. *Science of the Total Environment*, 727, Article 138709. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138709>
- Weishaar J L, Aiken G R, Bergamaschi B A, Fram M S, Fujii R, Mopper K. 2003. Evaluation of specific ultraviolet absorbance as an indicator of the chemical composition and reactivity of dissolved organic carbon. *Environmental Science & Technology*, 37(20), 4702-4708. <https://doi.org/10.1021/es030360x>
- Weisner S E B & Thiere G. 2010. Effects of vegetation state on biodiversity and nitrogen retention in created wetlands: a test of the biodiversity-ecosystem functioning hypothesis. *Freshwater Biology*, 55(2), 387-396. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2009.02288.x>
- Weyhenmeyer G A, Froberg M, Karlton E, Khalili M, Kothawala D, Temnerud J, Tranvik L J. 2012. Selective decay of terrestrial organic carbon during transport from land to sea. *Global Change Biology*, 18(1), 349-355. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2011.02544.x>

Tack

Vi tackar Kristianstad vattenrike för ekonomiskt stöd till detta forskningsprojekt. Projektet har även finansierats av Forskningsrådet Formas (2020-00730), Carl Tryggers stiftelse (CTS 19:337) samt Crafoordska stiftelsen (20210778). Delprojekt 1 och 2 är publicerade med open access och kan läsas på följande länkar:

<https://link.springer.com/article/10.1007/s10533-023-01079-y>

<https://link.springer.com/article/10.1007/s13157-022-01640-9>

<https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/eap.2945>

Resultat från delprojekt 1 och 2 har dessutom presenterats på konferensen "International Society of Limnology" (Berlin, Augusti, 2022)

Delprojekt 3 har presenterats på "The Swedish Climate Symposium" (Norrköping, May 2024, *Borgert J., Jones K., Nilsson J. E., Sjöstedt J. and Liess A. Can constructed wetlands reduce brownification?*)

Biosfärområde Kristianstads Vattenrike – bra för natur och människa

Den här rapporten ingår i Biosfärkontoret Kristianstads Vattenrikes skriftserie **Vattenriket i fokus** (ISSN 1653-9338).

Här publiceras rapporter och inventeringar som utförts på uppdrag eller i samarbete med Biosfärkontoret.

Rapporterna går att ladda ner från
vattenriket.kristianstad.se/fokus.



Läs mer och se kontaktuppgifter på hemsidan
vattenriket.kristianstad.se