

Våtmarkers hydrologiska ekosystemtjänster och multifunktion

WetKit Hydro-ES: Wetland toolkit
for hydrological ecosystem services

Pia Geranmayeh, Emma E. Lannergård,
Martyn N. Futter

RAPPORT 7146 | JUNI 2024



Våtmarkers hydrologiska ekosystemtjänster och multifunktion

WetKit Hydro-ES: Wetland toolkit
for hydrological ecosystem services

av Pia Geranmayeh, Emma E. Lannergård och Martyn N. Futter

Beställningar

Ordertel: 08-505 933 40

E-post: natur@cm.se

Postadress: Arkitektkopia AB, Box 110 93, 161 11 Bromma

Internet: www.naturvardsverket.se/publikationer

Naturvårdsverket

Tel: 010-698 10 00

E-post: registrator@naturvardsverket.se

Postadress: Naturvårdsverket, SE-106 48 Stockholm

Internet: www.naturvardsverket.se

ISBN 978-91-620-7146-2

ISSN 0282-7298

© Naturvårdsverket 2024

Arkitektkopia AB, Bromma 2024

Omslagsfoto: Michael Peacock



Förord

Här presenteras resultaten från forskningsprojektet ”WetKit Hydro-ES”. Projektet är ett av åtta projekt som genomförts inom forskningssatsningen Våtmarkers ekosystemtjänster.

Med forskningsområdet ville Naturvårdsverket och Havs- och vattenmyndigheten stödja forskning som kunde stärka möjligheterna att på bästa sätt restaurera och anlägga våtmarker i landskapet för att skapa så stor nytta som möjligt för ekosystemen och samhället. Projektet har finansierats med medel från Naturvårdsverkets miljöforskningsanslag.

Rapporten har skrivits av Pia Geranmayeh, Emma E. Lannergård och Martyn N. Futter från Sveriges lantbruksuniversitet.

Rapporten har granskats för vetenskaplig kvalitet av Maria Elenius (SMHI) samt för praktisk relevans av Karin Glaumann Andersson (Naturvårdsverket).

Författarna svarar för rapportens innehåll.

Stockholm i maj 2024

Marie Uhrwing
Avdelningschef, Hållbarhetsavdelningen

Innehåll

Förord	3
Sammanfattning	6
Summary	8
1. Inledning	10
2. Metod	12
2.1 Våtmarkers multifunktion	12
2.1.1 Undersökta våtmarker	12
2.1.2 Provtagning och analys	14
2.1.3 Modellerings	16
2.2 Våtmarksfinansiering och rådgivning	17
2.2.1 Våtmarksfinansiering	17
2.2.2 Våtmarksrådgivning	17
2.3 Kommunikation	18
2.3.1 Filmproduktion	18
2.3.2 Workshops	18
3. Resultat	20
3.1 Multifunktionella våtmarkslandskap	20
3.2 Våtmarkers hydrologiska funktion i landskapet	21
3.2.1 Batymetri	21
3.3 Vattennivåvariationer	23
3.3.1 Observationer	23
3.3.2 Modellerings	25
3.3.3 Preliminära modelleringsresultat	29
3.3.4 Omfördelning av nederbörd	30
3.4 Avrinningsområdesfaktorer	31
3.5 Näringsretention	31
3.5.1 Sedimentackumulation i 40 våtmarker	31
3.5.2 Vattenkvalitet i 40 våtmarker	33
3.5.3 Vattenkvalitet i två fosfordammar	35
3.5.4 Placering och storlek avgörande för näringsrening	35
3.6 Växthusgaser	37
3.6.1 Metanavgång i 40 anlagda jordbruksvåtmarker	37
3.6.2 Lustgasavgång i 40 anlagda jordbruksvåtmarker	38
3.6.3 Metanogener/metanotrofer	39
3.6.4 Metan och lustgas i 18 experimentella våtmarker	41
3.7 Biodiversitet	42
3.8 Hinder vid anläggning av våtmarker	43
3.8.1 Svårt med riktade insatser utan öronmärkt budget	43
3.8.2 Avvägning mellan olika funktioner	43
3.8.3 Vikten av markägarförtroende	44
3.8.4 Komplicerade finansieringssystem och brist på kriterier	45
3.8.5 Behov av långsiktiga finansieringssystem	46
3.8.6 Behov att utjämna den regionala spridningen i våtmarksanläggning	47

3.8.7	Arrendeproblematik	48
3.8.8	Ingen effekt på vattendragens vattenkvalitet	49
3.9	Kommunikation	50
3.9.1	Workshop för åtgärdssamordnare och handläggare	50
4.	Diskussion	53
4.1	Våtmarkens hydrologiska roll	53
4.2	Multifunktionalitet	54
4.3	Hinder för skapande av våtmarker	55
4.4	Ett nytt ramverk för bedömning av ekosystemtjänster	56
5.	Slutsatser och förslag	59
6.	Tack	61
7.	Källhänvisning	62
8.	Publikationer och data	65
8.1	Vetenskapliga publikationer	65
8.2	Examensarbeten	66
8.3	Övrig publicering	66
8.3.1	Rapporter	66
8.3.2	Policy briefs	66
8.4	Medverkande	67

Sammanfattning

Målet med detta projekt var att förbättra möjligheterna för anläggning och design av multifunktionella våtmarker i det svenska jordbrukslandskapet. I projektet har vi genom kommunikation med olika intressenter som arbetar med våtmarker, mätningar och fältundersökningar, modellering, policyanalys och samarbete över projektgränserna arbetat för att skapa underlag för multifunktionella våtmarker. Dialog med åtgärdssamordnare, myndighetsutövare och andra berörda har kommunicerats genom workshops där den senaste forskningen presenterades i tillämpat format. Vidare har en film producerats som handlar om de positiva fördelarna som finns med våtmarker, innefattande både deras skönhet men även andra ekosystemtjänster. Projektet har bidragit till betydelsefulla resultat inom forskningsområdet genom såväl granskade artiklar och examensarbeten.

Fältmätningar utfördes vid våtmarker i Mälardalen och Halland. Dessa mätningar inkluderade näringsämnen i vatten och sediment, växthusgaser, kolinlagring, vattennivå och nya mätningar av mikrobiell biodiversitet. Modellering användes för att förstå leveransen av ekosystemtjänster från våtmarker relaterade till näringsretention och buffring av höglöden. En tvärvetenskaplig policyanalys identifierade utmaningar relaterade till markägande, finansieringsprogram och rollen för våtmarksrådgivare. Många av resultaten från detta projekt som rör multifunktionalitet uppkom genom samarbete med andra projekt i forskningsatsningen om "Våtmarkers ekosystemtjänster" från Naturvårdsverket.

Bakgrunden till vårt projekt är att de flesta av våtmarkerna i det svenska jordbrukslandskapet dränerats under 1800- och 1900-talet för att göra marken tillgänglig för livsmedelsproduktion. Idag har vi en ökad medvetenhet om konsekvenserna av detta, vilket medför allt fler krav på åtgärder för att anpassa landskapet till klimatförändringar, förbättra vattenkvaliteten och främja biologisk mångfald. Anlagda våtmarker kan uppfylla alla dessa nyttor och det svenska samhället investerar betydande resurser för att skapa fler våtmarker i jordbrukslandskapet. Dessa stöd fokuserar på olika nyttor med våtmarker, det är dock en stor variation i budget och vilka som får söka stöden (enskilda markägare eller kommun/vattenråd m.fl.), och därmed vilket finansieringssystem som används mest. För att öka utnyttjandet av alla stöden och för att få rätt våtmark på rätt plats, behövs öronmärkta budgetar, förtroende och samarbete mellan markägare och myndigheter. Det blir även allt viktigare (både utifrån markägar- och samhällsperspektiv) att skapa våtmarker som behåller vatten i landskapet under perioder av torka och skyddar mot översvämning.

I början av vårt projekt förväntades individuella våtmarker kunna utformas och förvaltas för att leverera flera ekosystemtjänster relaterade till exempelvis näringsretention, främjande av biodiversitet och buffring av höglöden. Detta kan stämma in på vissa aspekter där våtmarker kan utformas för att främja multifunktionalitet, exempelvis genom att utforma strandnära zoner för ökad biodiversitet i våtmarker vars huvudsyfte är näringsretention. Även buffring av höglöden kan kombineras med näringsrening genom en förbättrad design.

Under projektets gång blev dock två saker tydliga. För det första bör den lämpliga skalan för utvärdering av multifunktionalitet vara både den individuella våtmarken och "våtmarkslandskapet". För det andra måste avvägningar mellan positiva och negativa aspekter också inkluderas i begreppet multifunktionalitet.

Ett våtmarkslandskap liknar en stjärnbild. På samma sätt som en stjärnbild beror på stjärnornas plats och ljusstyrka inom den, kan ett våtmarkslandskap definieras av platsen och egenskaperna hos dess våtmarker. Placeringen i våtmarkslandskapet är en viktig indikator för våtmarkens funktionalitet. För att en våtmark ska vara näringsämnen effektivt måste den ha en tillräckligt hög näringsbelastning och varken för lite eller för mycket inkommande vatten. På liknande sätt beror en individuell våtmarks förmåga att buffra översvämningar och torka på placeringen i våtmarkslandskapet, med vissa våtmarker som har god potential att behålla vatten vid torka, medan andra erbjuder möjlighet att mildra lokala översvämningar.

Avvägningar, eller fördelar inom ett område som är förknippade med nackdelar inom ett annat område, måste också beaktas. Våtmarker med hög näringsbelastning har hög potential för näringsrening, men innebär risk för betydande avgång av växthusgaser (särskilt metan). Våtmarker som effektivt behåller kol i sina sediment kan behöva mer frekvent underhåll än de som inte ackumulerar lika mycket sediment över tid. Våtmarker som anläggs på näringrik jord för biologisk mångfald genom dämning riskerar att bli fosforkällor, därför behövs en fosforriskbedömning göras vid projekteringen.

En tredje slutsats från vårt projekt var betydelsen av de individer som arbetar med frågan och deras tillgång till relevant information. Implementeringen av våtmarker i Sverige är en frivillig aktivitet från markägarperspektiv och många personer är involverade i processen, inklusive myndighetsutövare, våtmarksrådgivare, åtgärdssamordnare, medlemmar i olika organisationer (t.ex. vattenvårdsförbund, intresseorganisationer) och markägarna själva. Alla dessa grupper har uttryckt ett behov av praktiska råd om placering, utformning, tillgängliga verktyg och eventuella avvägningar för olika våtmarkstyper samt kontinuerlig dialog med forskare och sakkunniga.

Slutligen identifierade projektet områden där kunskapen är bristfällig. Faktorerna som styr växthusgasutsläpp från våtmarker kräver vidare studier. Resultat från vårt projekt visade att det finns stora skillnader i mikrobiella samhällen mellan våtmarker. Dessa skillnader påverkar variationen i exempelvis metanproduktion och -konsumtion. Skillnaderna i mikrobiella samhällen belyser också det faktum att biodiversitet också handlar om mikroorganismer, inte bara synlig flora och fauna. Vidare behövs finansieringen för våtmarksanläggning harmoniseras på nationell nivå. Kunskapen är i dagsläget även bristfällig kring våtmarkers långsiktiga effekt, skötselbehov, synergier eller möjliga avvägningar mellan funktioner och risker. Det finns ett stort behov av långsiktiga mätningar för att följa upp anlagda våtmarkers faktiska effekt, samt att säkerställa måluppfyllelse vid anläggning av nya.

Summary

In this project, we attempted to improve the possibilities multifunctional wetlands in the Swedish agricultural landscape. We accomplished this through stakeholder communication, field measurements, modelling, institutional analysis and cross-project collaboration. Stakeholder communication included knowledge transfer workshops for catchment officers and other practitioners, a broadcast quality film about the beauty and benefits of wetlands, popular science and peer reviewed publications. Field measurements were conducted at wetlands in Mälardalen and Halmstad. These measurements included nutrients, greenhouse gas (GHG) emissions, carbon accumulation, water levels and novel measurements of microbial biodiversity. Modelling was used to understand wetland ecosystem service delivery related to nutrient retention and buffering of hydrological extreme events. Institutional analysis identified challenges related to land ownership, funding programmes and the role of wetland advisors. Many of the findings of this project related to multifunctionality came about through collaboration with other NV funded projects.

The background to our project is that most of the wetlands in the Swedish agricultural landscape have been drained during the 19th and 20th century to increase the land available for food production. Today, with an increasing awareness of humanity's impact on the planet, there are more and more demands for actions to adapt to and mitigate climate change, improve water quality and promote biodiversity. Constructed wetlands can fill all these purposes and Swedish society is investing significant resources to create more of them in the agricultural landscape. However, different groups of people have different expectations of wetland functions; the funding system prioritizes biodiversity and nutrient retention, while land owners often build wetlands for biodiversity, recreation and aesthetics. Increasingly, both land owners and government officials want wetlands to keep water in the landscape during periods of drought.

At the start of our project we had an expectation that individual wetlands could be designed, built and managed to deliver multiple services related to, e.g., nutrient retention, biodiversity promotion and buffering of hydrological extremes. And for some aspects wetlands can be better designed to promote greater multifunctionality. For example, appropriately designed riparian zones can increase the biodiversity value of nutrient retention wetlands while flow patterns and bathymetry in biodiversity wetlands can be engineered to enhance nutrient retention.

During the course of the project, two things became apparent. First, the appropriate scale for evaluating multifunctionality should be both the individual wetland and the "wetlandscape". Second, trade-offs between positive and negative aspects must also be evaluated.

A wetlandscape is like a constellation. In the same way that a constellation depends on the location and brightness of the stars it contains, a wetlandscape can be defined by the location and properties of its wetlands. Location in the wetlandscape is an important predictor of wetland functionality. For a wetland to retain nutrients efficiently, it must have a sufficiently high nutrient load and neither too little not too much inflowing water. Similarly, the ability of an individual wetland to

buffer floods and droughts depends on location in the wetlandscape, with some wetlands having good drought mitigation potential while others offer some possibility to mitigate localised flooding.

Trade-offs, or benefits in one area associated with drawbacks in another, must also be considered. Wetlands with a high nutrient loading and hence a high nutrient retention potential also have the possibility to be significant greenhouse gas (GHG) sources. Wetlands that effectively retain carbon in their sediments may need more frequent maintenance than those that have lower rates of sediment accumulation.

A third finding of our project was the importance of people. Wetland creation in Sweden is a voluntary activity and many people are involved in the process including government officials, advisors, members of civil society organisations (e.g., vattenvårdsförbund) and land owners. All of these groups have highlighted the need for more information about wetlands and for an ongoing dialogue with the scientific community.

Finally, the project identified areas where knowledge is lacking. The factors controlling GHG-emissions from wetlands requires further investigation. In our project, we highlighted the fact that there are large differences in microbial communities between wetlands. These differences may be one of the factors influencing differences in, e.g., methane production. The differences in microbial community also highlight the fact that biodiversity is also about microorganisms, not just visible flora and fauna. From an operational perspective, the financing for wetland creation should be streamlined and harmonized. Furthermore, there needs to be more follow up of wetland functionality, and a better awareness of the need for wetland maintenance.

1. Inledning

För 150 år sedan finansierades utdikning av naturliga våtmarker för att skapa mer produktiv skogs- och jordbruksmark, då befolkningen svalt. I Skåne och Mälardalen har upp emot 90 % av alla naturliga våtmarker dränerats. Våtmarker påverkar landskapets hydrologi både avseende avrinning och infiltration (Bullock & Acreman, 2003, Kadykalo & Findlay, 2016; Thorslund m.fl. 2017; Janse m.fl. 2019; Jaramillo m.fl. 2019). Genom deras buffringsförmåga, uppehålls vattnet i landskapet längre vilket påverkar flödet och näringsreningen. Den minskade våtmarksarealen tillsammans med ökad gödsling har bidragit till flera miljöproblem, exempelvis övergödning och minskad biologisk mångfald då våtmarker utgör viktiga miljöer för många växter och djur (Strand & Weisner, 2013).

Våtmarker och dammar föreslås därför i stor utsträckning som naturbaserade åtgärder för leverans av ekosystemtjänster som näringsrening, flödesdämpning i landskapet och för ökad biologisk mångfald (Thorslund m.fl. 2017; Janse m.fl. 2019, Jaramillo m.fl. 2019), samt för att bidra till Sveriges miljömål och FN:s hållbara utvecklingsmål (Seifollahi-Aghmiuni m.fl. 2019). Våtmarker kan dessutom ha en positiv inverkan på kolinlagring (Thorslund m.fl. 2017) och skapar fina rekreationsområden för samhällen (Ghermandi m.fl. 2010).

I Sverige är jordbruket den största antropogena källan till kväve (N) och fosfor (P) (Ejhed m.fl. 2016), för att minska utsläppen av näringsämnen från jordbruksområden och för att öka den biologiska mångfalden har över 15 000 ha våtmarker skapats med statligt finansierade medel sedan 1990-talet (Graversgaard m.fl. 2021). Från 2010–2022 har 7 813 ha våtmarker (exkluderat torvmark) anlagts och restaurerats (Naturvårdsverket, 2023). Finansieringen kommer främst från Landsbygdsprogrammet (LBP), men även den lokala naturvårdssatsningen (LONA) och skötselmedel för skyddade områden och våtmarksåtgärder i lokala vattenvårdsprojekt (LOVA), samt en del andra fonder för åtgärdsprojekt (Naturvårdsverket, 2023).

De olika finansieringsstöden ger ersättning till våtmarker som ska gynna olika syften/miljömål (näringsrening, biologisk mångfald, flödesdämpning, klimat) och kan sökas av olika markägare eller icke vinstdrivande organisationer. Då anläggning av våtmarker är en frivillig åtgärd finns det våtmarksrådgivare och åtgärdsamordnare som kan motivera och hjälpa markägare att söka dessa stöd och få ersättning. Med syfte att förbättra många pressande miljöproblem, där våtmarker kan vara en del av lösningen behöver åtgärdstakten öka. De hinder som finns behöver identifieras och överbryggas, samtidigt som markägarnas motivation behöver hållas på en hög nivå.

Även om våtmarker ofta används som ett förslag i åtgärdsprogram kopplade till ramdirektivet för vatten, för att minska näringsbelastning och uppnå god status i vattenförekomster (Franzén m.fl. 2015, Franzén m.fl. 2016), visar utvärdering av svenska jordbruksvåtmarker att de inte placerats eller utformats på ett bra sätt för hög näringsrening (Brandt m.fl. 2009). För hög näringsrening bör våtmarker motta mycket näring (Land m.fl. 2016; Weisner m.fl. 2015), men detta kan å andra sidan missgynna kolinlagring (Jessop m.fl. 2015). Det finns även negativa aspekter kopplade till våtmarker, exempelvis avgång av växthusgaser (Peacock m.fl. 2021), ökad förekomst av myggor och förlust av produktiv mark (Schäfer m.fl. 2004).

Våtmarker är även den största naturliga källan till utsläpp av metan (CH_4) (IPCC, 2013) och mycket näring kan även innebära större metanproduktion (Beaulieu m.fl. 2019). Det är därför viktigt att även kvantifiera och undersöka vilka faktorer som påverkar utsläppen av metan från jordbruksvåtmarker. Även lustgas (N_2O) kan avges från våtmarker. Lustgas är ett mellansteg i den viktigaste reningsprocessen av kväve i våtmarker, denitrifikation, där nitrat omvandlas till kvävgas (N_2).

För bättre utformning av riktlinjer och anläggande av effektiva våtmarker i jordbrukslandskapet behövs en bättre förståelse av synergier och avvägningar mellan olika syften. För detta krävs att flera ekosystemtjänster mäts i samma våtmarker, vilket har gjorts i detta projekt. Syftet med projektet *WetKit Hydro-ES: Wetland Toolkit for Hydrological Ecosystem Services* var att:

- i. Utvärdera vilken effekt anlagda våtmarker har på hydrologiska processer på lokal och landskapsskala?
- ii. Utvärdera vilka faktorer som påverkar våtmarkers hydrologiska funktion och multifunktion?
- iii. Utvärdera vilket är det bästa sättet att optimera våtmarkers multifunktion?
- iv. Undersöka vilka motiveringar och hinder finns det för våtmarksimplementering?
- v. Öka kunskapen hos allmänheten genom att skapa en informationsfilm om våtmarkers ekosystemtjänster.

2. Metod

För att svara på forskningsfrågorna delades projektet in i tre delar, där fokus var (1) de hydrologiska ekosystemtjänsterna som våtmarker kan bidra med, (2) multifunktion och (3) att undersöka rådgivningen och finansieringen kring våtmarksarbetet. En viktig del i projektet var även att nå ut med information om våtmarker genom att skapa en film och anordna workshops.

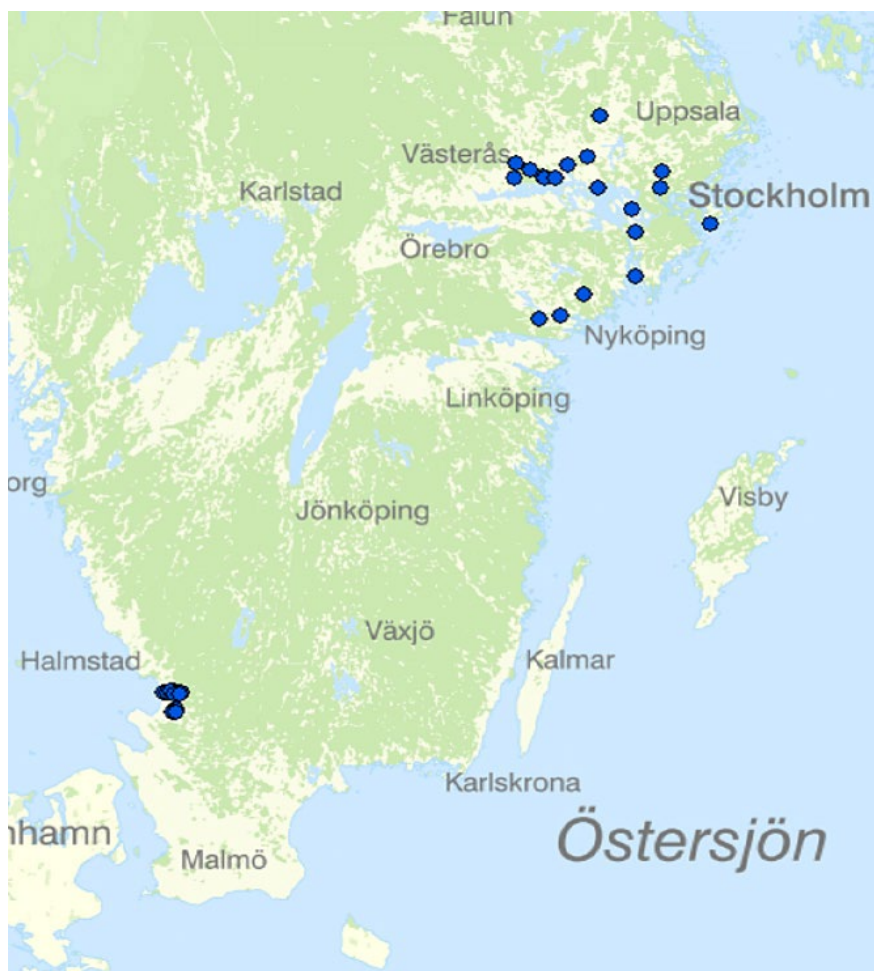
2.1 Våtmarkers multifunktion

2.1.1 Undersökta våtmarker

I detta projekt var fokus att undersöka multifunktionen i våtmarker som anlagts i jordbrukslandskapet med syfte att rena näring. Eftersom våtmarkers placering är avgörande för näringsreningen, valdes 40 våtmarker ut som hade minst 50 % jordbruksmark i dess avrinningsområde (Figur 1). För att täcka en regional spridning och olika jordar, valdes 21 våtmarker i Mälardalen som domineras av lerjordar och 19 våtmarker på grövre jordar i Halland. Ett annat kriterium var att våtmarkerna skulle vara relativt långsmala, vilket gör att vattnet sprids på en stor del av våtmarkernas yta och reningen förbättras. Våtmarkerna i Halland valdes i samarbete med Hushållningssällskapet i Halland för att öka samarbete och insamling av information.

Våtmarksstorlek och avgränsning av avrinningsområdet samt markanvändning, jordart och andra faktorer hade tidigare tagits fram för våtmarkerna i Mälardalen, men togs under våren 2022 fram genom GIS-analys för våtmarkerna i Halland (Kero 2022).

Djupprofiler för våtmarkerna inom Mälardalen erhöles genom kartering med ekolod kombinerat med mätsticka (djup > 0.6 m) (Lindau 2021). Med hjälp av batymetri kunde volymen hos de undersökta våtmarkerna beräknas, samt våtmarker med tydlig djup/grunddel identifieras.



Figur 1. Av de 40 våtmarker som provtogs låg 19 våtmarker i Halland och 21 i Mälardalen.

2.1.2 Provtagning och analys

SEDIMENTPROVTAGNING

I alla 40 våtmarker togs sedimentkärnor (Figur 2) under 2021 för att undersöka hur mycket partiklar och fosfor som ackumulerats sedan anläggning samt till vilka ämnen fosfor är bundet. Fosforfraktionering enligt Lannergård m.fl. (2020) utfördes för att urskilja fosfor bundet till järn, aluminium, kalcium och organiskt material.



Figur 2. Sedimentprovtagning från båt (vänster) och sedimentkärna (höger).

SYNOPTISK PROVTAGNING VATTENKVALITET

Under säsongen 2021/2022 genomfördes synoptisk provtagning av vattenkvaliteten och växthusgaser i alla 40 våtmarker (Lundström 2022; Yngve 2022). Manuella stickprover av vatten togs vid inlopp respektive utlopp. Totalfosfor, fosfat, suspenderat material, totalkväve, nitrat och total organiskt kol analyserades på SLU:s SWEDAC-ackrediterade geokemiska laboratorium. Vid inloppet och utloppet mättes även vattentemperatur (°C), atmosfärstryck, pH, oxidation-reduktionspotential (mVpH), löst syrehalt (% och mg/L) och elektrisk konduktivitet (uS/cm) med en Hanna HI 9829 Multiparameter (Hanna instruments). Dessutom mättes Klorofyll *a* (µg/L) med en FluoroSense™ handhållen flourometer (Turner designs) vid samma provpunkter.

FLÖDESPROPORTIONELL PROVTAGNING I TVÅ FOSFORDAMMAR

Varannan vecka under 2023 togs samlingsprov av vatten från flödesproportionell vattenprovtagningsutrustning vid inloppet och utloppet av Bergaholm och Nybble fosfordammar som är belägna i Mälardalen. Vid Nybble finns även en provtagningspunkt mellan den initiala djupdelen och efterföljande grunddel. Vattenproverna analyserades med avseende på vattenkemi som ovan på samma SWEDAC-ackrediterade geokemiska laboratorium på SLU. Flödet registreras kontinuerligt vid inlopp och utlopp genom *In Situ* data-loggrar monterade på respektive plats. Vattenflödet beräknas utifrån nivåmätningar vid bestämmande sektioner, V-överfall, som är kopplade till flytkropp och lastcell.

SYNOPTISK PROVTAGNING AV LÖST METAN OCH LUSTGAS

Prover av löst metan och lustgas i vattnet togs i mitten av varje våtmark genom headspace-teknik (Lundström 2022; Yngve 2022). En 60 ml spruta spolades med atmosfärsluft flera gånger innan 30 ml luft injicerades i sprutan. Sedan injicerades 30 ml vatten, som provtogs precis under vattenytan. Sprutan skakades kraftigt i 60 sekunder, innan den vändes upp och ned och 5 ml luft sprutades ut. Sedan injicerades 15 ml headspace-luft in i en septumförseglad 12 ml glasflaska där undertryck skapats. Koncentrationerna av metan och lustgas analyserades med gaskromatograf (Perkin Elmer Clarus 500) enligt gällande standarder på Mark och växtlaboratoriet på institutionen för mark och miljö, SLU Uppsala.

EBULLATIV OCH DIFFUSAVGÅNG AV METAN OCH LUSTGAS

Flytande kamrar placerades i fyra av våtmarkerna i Halland (GA2, GA4, VA1 och VA5) och två av våtmarkerna i Mälardalen (Brunnby och Graneberg) (Figur 3). I varje våtmark lämnades tre flytande kamrar på tre platser (inlopp, mitten och utlopp) under ca 24 timmar vid varje provtagningstillfälle som sammanföll med den säsongsvisa synoptiska provtagningen (Lundström 2022; Yngve 2022). Luften i kamrarna provtogs genom att ansluta en spruta till provtagningsslangen som först spolades flera gånger för att blanda luften i kammaren och sedan suga ut luften som injicerades i en 12 ml septumförseglad glasflaska. Proverna analyserades sedan med gaskromatograf (Perkin Elmer Clarus 500) enligt gällande standarder på Mark och växtlaboratoriet på institutionen för mark och miljö, SLU Uppsala.



Figur 3. Flytande kamrar lämnades i ca 24 timmar för att mäta ebullativ avgång av metan och lustgas.

PROVTAGNING AV MIKROBER

I februari och augusti 2022 togs ytsediment och vattenprover från alla våtmarker för DNA extraktion och qPCR analys av antal mikrober. Fokus låg på att identifiera metanproducerande och konsumerande mikrober (Yngve 2022), men även att studera variationen i artrikedom.

VATTENNIVÅMÄTNINGAR

I ett urval av våtmarker i Mälardalen placerades utrustning (TruTrack, 2024) för övervakning av vattennivån. Vattennivåmätare placerades i den djupaste delen av våtmarken under senhösten 2022. De samlar in högfrekventa vattennivå, luft- och vattentemperaturmätningar som sedan kan användas för att analysera och modellera variationen i vattennivå och lagringskapacitet beroende på inflöde/utflöde, nederbörd och avdunstning.

VATTENKVALITET I VATTENDRAG

Vattenkvalitetsdata från den nationella miljöövervakningen under perioden 1997–2020 användes för att kontrollera tidsserier för trender i Sandström m.fl. (2024). En GAM-analys (general additive models) användes för att identifiera trender under specifika år eller hela den undersökta tidsperioden (von Brömssen m.fl. 2021). Trender jämfördes sedan med data avseende bland annat anlagda åtgärder från VISS (2022), samt SMHI:s våtmarksdatabas för att se om trender i vattenkvalitet kunde kopplas till antalet genomförda åtgärder.

2.1.3 Modellering

För alla instrumenterade våtmarkerna, simulerades vattennivå med hjälp av modellen PERSiST (<https://github.com/INCAWQModels/Distribution>). PERSiST (the Precipitation, Evaporation and Runoff Simulator for Solute Transport) är en hydrologisk modell som kan anpassas till olika konceptuella representationer av mark- och vatteninteraktioner (Futter m.fl. 2014). Modellen kan anpassas till olika tidssteg (> 1 sekund) och kan kalibreras till en eller flera tidsserier av observerad vattenföring, vattennivå och marktemperatur. För att använda PERSiST behövs endast tidsserier av temperatur och nederbörd. Avdunstning simuleras genom Jensen-Haise/McGuinness modellen som beskriver potentiell avdunstning begränsad av simulerad markvattenstatus. Kalibreringsresultat kan utvärderas genom olika mått på prestanda, exempelvis Pearsons korrelationskoefficient (r_2), Nash Sutcliffe Efficiency (NSE) och Kling Gupta Efficiency (KGE).

Konceptuella representationer av den mark-vattencykeln skapas genom att koppla en eller flera markboxar till en ytvattenbox (Figur 12). Varje markbox kan leda vatten till en eller flera markboxar och ytvattenboxen. Vatten adderas till markboxen genom nederbörd (regn eller snö) eller genom överföring från andra boxar. Inom en markbox är vattnet uppdelat i två fraktioner ”fritt avrinnande” och bundet. Rörelsen av ”fritt avrinnande” vatten ut ur en box kontrolleras av djup och en tidskonstant som beskriver fraktionen av vatten som lämnar vid varje tidssteg. Vatten i den ”fritt avrinnande”-fraktionen kan bidra till påfyllning av andra boxar, avrinning till ytvatten och avdunstning. När vattendjupet inte motsvarar tröskeln för ”fritt avrinnande” bidrar det endast till avdunstning.

Eftersom observationer av vattenföring från utloppet av de studerade våtmarkerna inte övervakats gjordes alla modellkalibreringar mot det observerade vattenståndet. Även om de flesta hydrologiska modeller kalibreras mot flöde blir kalibreringar mot vattennivå allt vanligare (till exempel Jian et al. 2017). PERSiST-modellen har tidigare kalibrerats mot markfuktighet (Deutscher et al. 2019) och en kombinerad kalibrering har gjorts mot flöde och nivåer i Sävjaån.

Alla simuleringar gjordes på timbasis, observationer var 30 min aggregerades till vattennivå per timme. Timvisa temperatur- och nederbördsserier erhöles från det griddade ERA5-datasetet (Hersbach et al. 2023) på skalan $0,25^\circ \times 0,25^\circ$. Våtmarkens dimensioner och avrinningsområden erhöles från Lindau (2021).

Följande steg utfördes för att förbereda datan för analys: (1) vattennivå- och nederbörddata visualiserades tillsammans, (2) våtmarker med variationer i vattennivå som visuellt inte var relaterad till nederbördsserien (t.ex. stora förändringar i nivån utan rapporterad nederbörd) uteslöts från ytterligare analys. (3) Därefter uteslöts eventuella felaktiga från varje vattennivåsserie och (4) vattennivån omvandlades så att den lägsta observerade nivån sattes till noll (relativ vattennivå).

Modellkalibrering utfördes i följande steg. Först etablerades en konceptuell mark-vattenmodell och parametrar testades inledningsvist manuellt (ex. tröskeltemperaturer för regn/snö och start av transpiration, relativa mängder vatten som rör sig mellan boxar, boxars karaktäristiska tidskonstanter och parametrar som kontrollerar avdunstningshastigheter). När en trovärdig första kalibrering kunde erhållas (dvs. NSE >0) identifierades en uppsättning trovärdiga parameterintervall. Om ingen trovärdig första kalibrering kunde erhållas, etablerades en ny konceptuell modell och processen upprepades. Förutom den konceptuella modellen som visas i Figur 12, resulterade konceptuella modeller baserade på HYPE-representation från Lindström m.fl. (2010) och strukturer baserade på Medici m.fl. (2008) i trovärdig modellprestanda. När en uppsättning trovärdiga parameterintervall hade identifierats genomfördes en Monte Carlo-analys för modellkalibrering enligt protokoll beskrivna i Futter m.fl. (2014).

2.2 Våtmarksfinansiering och rådgivning

Under våren 2021 utförde två statsvetare från Uppsala universitet sina examensarbeten inom projektet för att skapa en överblick av de olika finansieringsmöjligheterna som finns för att anlägga våtmarker och för att undersöka vilken roll våtmarksrådgivare har för implementeringen.

2.2.1 Våtmarksfinansiering

Länsstyrelserna söder om Dalälven kontaktades under hösten 2020, för att insamla data för de våtmarker som anlagts mellan 2007 och 2020 i respektive län (Speks 2021). Data erhöles för våtmarker som finansierats av Landsbygdsprogrammet (LBP), men även den lokala naturvårdssatsningen (LONA) och skötselmedel för skyddade områden och våtmarksåtgärder i lokala vattenvårdsprojekt (LOVA). Data som erhöles var våtmarkernas anläggningsyta (ha), syfte (näringsrening, biologisk mångfald eller kombinerat syfte), anläggningskostnad och ersättning (SEK).

2.2.2 Våtmarksrådgivning

I projektet ”Greppa näringen” erbjuds kostnadsfri gårdsrådgivning till lantbrukare, vilket är ett samarbete mellan Jordbruksverket, Lantbrukarnas riksförbund och Länsstyrelserna. Greppa näringen erbjuder dels rådgivning kring ”våtmarksplanering” som ska hjälpa markägare som vill skapa en våtmark och dels ”skötsel/restaurering av våtmark”. Under 2021 kontaktades 25 våtmarksrådgivare som arbetar

eller inom de närmaste fem åren arbetat inom Greppa Näringens rådgivning för att utvärdera rådgivarnas roll och vilka hinder som finns för effektivt åtgärdsarbete. Av de tillfrågade medverkade 14 sedan i intervjuer (Wennerholm 2021). Intervjufrågorna var uppdelade i följande teman 1) arbetserfarenhet inom rådgivning, 2) vilken utbildning rådgivarna har gått, 3) varifrån rådgivarna inhämtar kunskap och vilka kunskapsluckor de har, 4) markägares motivering för anläggning av våtmarker och 5) barriärer för våtmarksimplementering och möjliga förbättringsförslag.

2.3 Kommunikation

2.3.1 Filmproduktion

En av de centrala delarna i vår kommunikationsstrategi var att producera en film på svenska om våtmarker i jordbrukslandskapet (Figur 4). Filmen belyser fördelarna med våtmarker, forskarna som arbetar med våtmarker och de lantbrukare och markägare som skapar och förvaltar våtmarker. Filmen riktar sig till en bred publik och har som primärt mål att öka medvetenheten i frågan. Vår förhoppning är att filmen belyser de positiva aspekterna av våtmarker och varför vi behöver fler våtmarker i jordbrukslandskapet.

2.3.2 Workshops

Projektet har tillsammans med Halmstad Högskola och Hushållningssällskapet Halland anordnat två workshops som hölls på SLU i Uppsala den 13 oktober och på Högskolan i Halmstad 8 december 2023. Syftet var främst att samla våtmarks-handläggare och åtgärdssamordnare för att informera om den senaste våtmarksforskningen och ge råd om "Hur vi skapar multifunktionella våtmarkslandskap". Programmet för Halmstad justerades något för att skapa mer diskussionsutrymme och för att få mer återkoppling om vad avnämare behöver för råd och verktyg från forskare och sakkunniga.



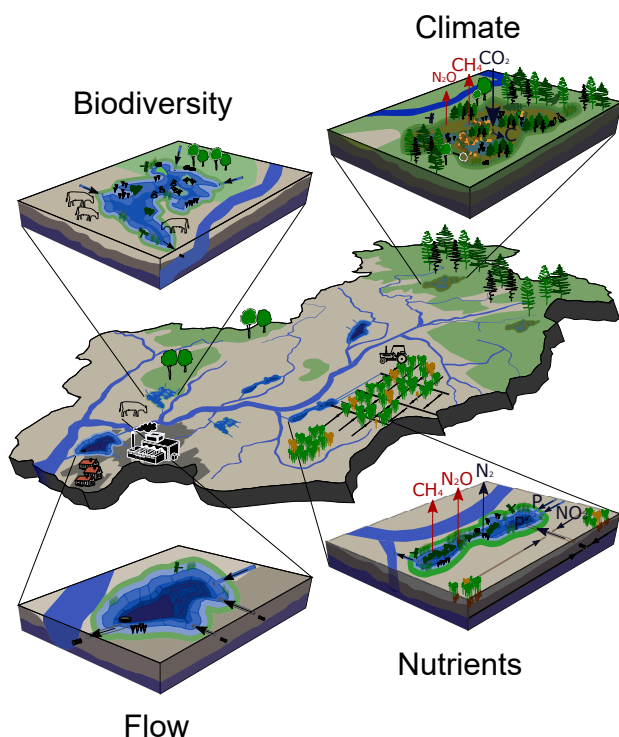
Figur 4. Bilderna visar filmning av några av WetKit-medarbetarna vid provtagning i en fosfordamm i Enköping (övre) och en våtmark i Halmstad (undre). Intervjuer av Naturvårdsverket, WetKit-forskare och samarbetande forskare från forskningsatsningen om "Våtmarkers ekosystemtjänster" från Naturvårdsverket.

3. Resultat

3.1 Multifunktionella våtmarkslandskap

Tidigare förväntades individuella våtmarker ha möjlighet att utformas och förvaltas för att leverera flera ekosystemtjänster relaterade till exempelvis näringsretention, främjande av biodiversitet och buffring av höglöden. Detta kan stämma in på vissa aspekter där våtmarker kan utformas för att främja multifunktionalitet, exempelvis genom att utforma strandnära zoner för ökad biodiversitet i våtmarker vars huvudsyfte är näringsretention.

I oktober 2021 anordnade Stockholms universitet en våtmarkskonferens ”Multifunktionella våtmarker:realistiskt mål eller orealistisk dröm” där WetKit bidrog med två presentationer. Dessutom deltog flera av forskarna inom detta projekt i efterföljande workshop de följande dagarna. Under den workshopen påbörjades en omformulering av definitionen av multifunktionalitet där det framkom att skalan för utvärdering av multifunktionalitet bör vara både den individuella våtmarken och ”våtmarkslandskapet”. Diskussioner och slutsatser från workshopen resulterade i en sammanfattande publikation som visar att det är svårt att optimera enskilda våtmarker för att gynna alla ekosystemtjänster, däremot går det att uppfylla ett multifunktionellt våtmarkslandskap där olika våtmarker optimeras utifrån deras primära syfte (Figur 5, Hambäck m.fl. 2022). Artikeln sammanfattar en strategi där det primära syftet (näringsrening, flödesdämpning, biologisk mångfald eller klimat) väljs i steg 1 utifrån markanvändning och jordar på respektive plats i landskapet. I steg 2 utformas våtmarken enligt de kriterier som optimerar huvudsyftet. I steg 3 förbättras utformningen för att gynna sekundära syften. Slutligen i steg 4 utförs en riskbedömning och åtgärder vidtas som minskar oönskade utsläpp av fosfor, kvicksilver och växthusgaser. Vilken utformning som gynnar en eller flera ekosystemtjänster och vilka risker återvätning av mark innebär varierar beroende på huvudsyftet (Figur 5). Artikeln visar också att det finns väldigt få studier där synergier mellan alla ekosystemtjänster studerats i samma våtmark. I kommande avsnitt visar vi på kopplingen mellan flödesbuffring, vattenkvalitet och växthusgaser i jordbruksvåtmarker som anlagts med syfte att rena näring.



Figur 5. Illustration av ett multifunktionellt våtmarkslandskap där våtmarker optimeras utifrån deras primära syfte (Hambäck m.fl. 2022).

3.2 Våtmarkers hydrologiska funktion i landskapet

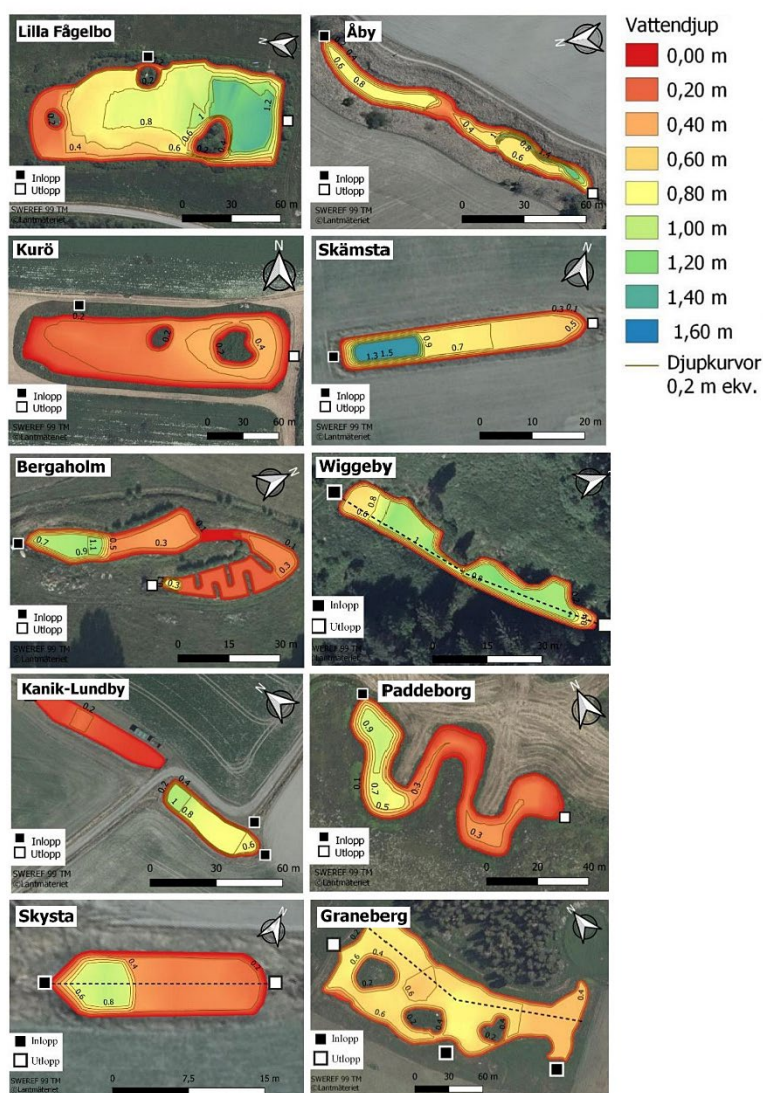
Våtmarker spelar en viktig roll i den hydrologiska cykeln eftersom de kan mildra effekterna av översvämningar och torka genom att kvarhålla vatten i landskapet. Möjligheterna för våtmarker att uppnå dessa syften beror på ett antal faktorer, inklusive mängden vatten de kan lagra och hastigheten som de fylls eller töms. Vattenlagring beror på batymetri och förhållandet mellan vattennivåer och nivå på omgivande mark, medan marktyp (till exempel sand eller lera), läge i avrinningsområdet (nedströms- eller uppströms) och anslutning till grundvatten troligen påverkar hastigheten som våtmarker fylls och töms.

3.2.1 Batymetri

Djupkartor producerades för de 21 våtmarkerna i Mälardalen (exempel i Figur 6). Våtmarkerna hade olika form även om de valts ut baserat på den långsmala formen för att få en jämn spridning av vattnet över hela våtmarksytan. Tio av de 21 våtmarkerna i Mälardalen var så kallade fosfordammar med en djuphåla vid inloppet och en grunddel vid utloppet. Dessa fosfordammar var antingen rektangulära, dvs en bräddning av ett öppet dike (ex. Skämsta, Figur 6) eller slingrande för att förlänga vattnets väg på en begränsad yta men ändå erhålla en långsmal form (ex. Paddeborg och Bergaholm, Figur 6). Majoriteten (18 st) av våtmarkerna hade ett inlopp, medan de återstående tre (Graneberg, Husbyön och Kanik Lundby) hade två inlopp. Det var endast Lilla Fågelbo som var djupast vid utloppet.

Undersökta våtmarker i Mälardalen varierade från 118 m² till 12 748 m², med en genomsnittlig area på 3 262 m². Avrinningsområden varierade från 15 ha till 1 410 ha, med en genomsnittlig storlek på 141 ha. Den relativa våtmarksarean jämfört med avrinningsområdet varierade från 0,04 % till 5,10 %, där genomsnittet var 0,60 %. Vid antagandet att den årliga avrinningen motsvarar cirka 220 mm/år varierade den hydrauliska belastningar mellan 4,3 m/år och 499 m/år, med en genomsnittlig belastning på 158 m/år (Tabell 1).

Det fanns ingen relation mellan våtmarksarea eller avrinningsområdesarea och medeldjup, medeldjupet för alla 21 våtmarker motsvarade 0,43 m med en standardavvikelse på 0,22 m. Därav har potentialen för vattenhållande kapacitet hos våtmarken i landskapet uppskattats utifrån våtmarksarean.



Figur 6. Batymetriska kartor för utvalda våtmarker i Mälardalen.

Tabell 1. Utformningsegenskaper i de studerade våtmarkerna i Mälardalen, anpassad från Lindau (2021). Mätningarna utförda 2021-09-23 – 2021-10-08 med dåvarande vattenyta som baslinje. ARO= avrinningsområde, HL= hydraulisk belastning, $A_w:A_c$ = relation mellan våtmarksarea och avrinningsområdesarea.

	Våtmarkstyp	Area (m ²)	Djup max (m)	Djup medel (m)	Volym (m ³)	ARO (ha)	HL (m/år)	$A_w:A_c$ (%)
Ber	Fosfordamm	824	1,12	0,35	291	27	72	0,3
Bru	Fosfordamm	1496	1,06	0,50	751	119	175	0,1
Gra	Våtmark	12748	0,79	0,54	7023	25	4	5,1
Hus	Fosfordamm ¹	771	0,72	0,16	126	16	46	0,5
KaL	Fosfordamm	1233	1,05	0,44	537	57	102	0,2
Kur	Våtmark	11107	0,46	0,25	2753	65	13	1,7
Lif	Våtmark	7865	1,39	0,74	5839	205	57	0,4
Bjö	Fosfordamm	8326	1,08	0,40	3352	60	16	1,4
Nyb	Fosfordamm ²	785	0,79	0,30	237	77	216	0,1
Pad	Fosfordamm	1802	1,00	0,36	642	170	208	0,1
Sky	Fosfordamm	118	0,99	0,40	48	20	373	0,1
Skä	Fosfordamm	304	1,50	0,71	214	51	369	0,1
Spr	Fosfordamm	882	0,57	0,16	142	36	90	0,2
StA	Fosfordamm	450	1,05	0,65	293	31	152	0,1
SäN	Våtmark*	1407	0,97	0,23	328	15	23	0,9
SäÖ	Fosfordamm ³	2405	0,77	0,26	634	31	28	0,8
Tor	Våtmark	11092	0,55	0,29	3239	1410	280	0,1
Ull	Fosfordamm	1967	1,43	0,80	1596	127	142	0,2
Wig	Våtmark	626	1,20	0,77	480	142	499	0,0
Åby	Våtmark	1617	1,60	0,57	922	229	312	0,1
Ökn	Fosfordamm ^{1*}	684	1,00	0,22	151	45	145	0,2

¹ Grunddelen var i praktiken helt torrlagd vid mätningen.

² Tre av fyra av sektioner av grunddelen samt övre delen av djupdelen var torrlagd vid mätningen.

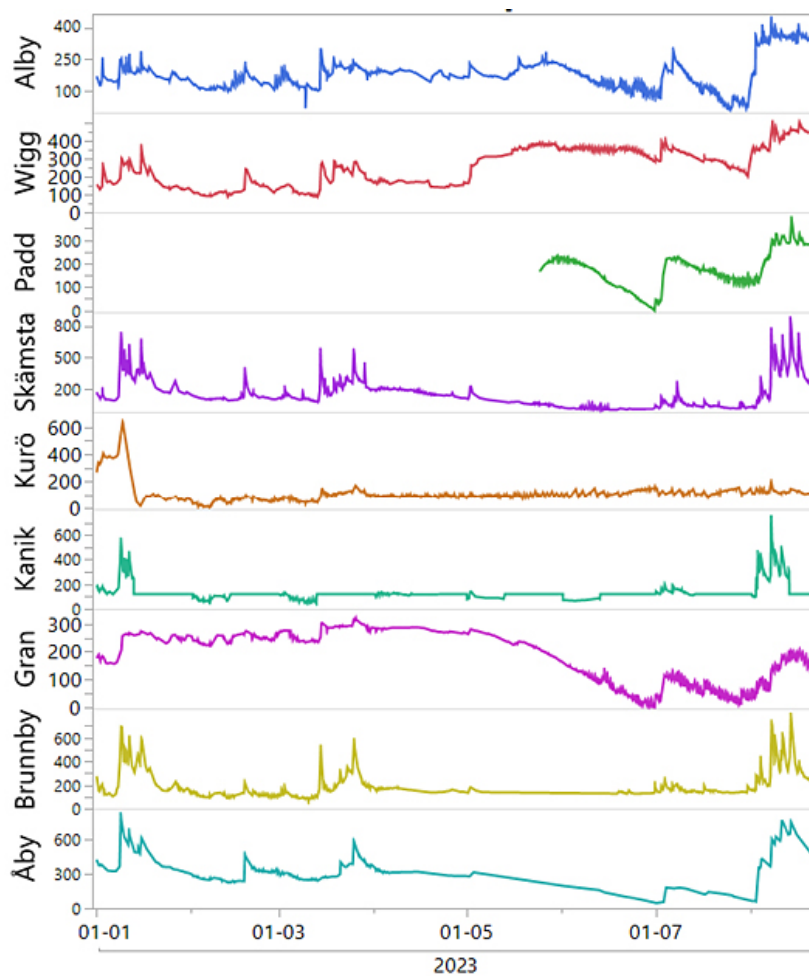
³ Mått exklusive en mindre separat invallad del i sydöstra hörnet.

* Särskilt hög osäkerhet för alla mått pga lokala terrängförhållanden som orsakat låg positionsnoggrannhet.

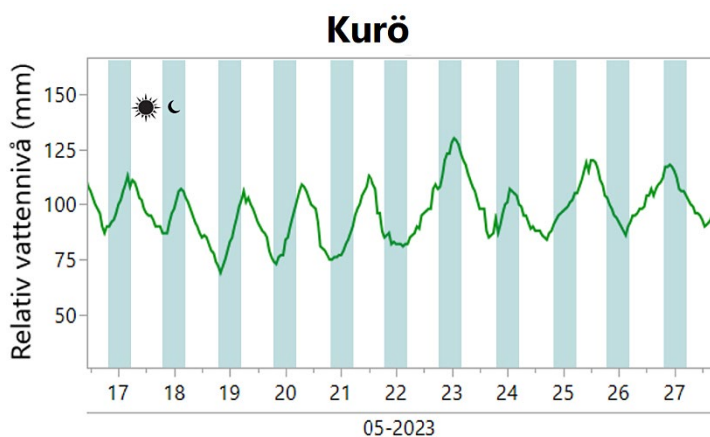
3.3 Vattennivåvariationer

3.3.1 Observationer

Vattennivåmätningar som utförts under ett år i 11 av de olika våtmarkerna i Mälardalen visar varierande respons avseende väderförhållanden under året (det bör noteras att 2023 var ett ovanligt väderår med såväl torka och en höst med mycket nederbörd). I två av våtmarkerna uppstod tekniska problem med utrustningen, och det första halvårets data saknades för Paddeborg men vattennivådata fanns tillgängliga för de andra våtmarkerna (Figur 7). Alla dataserier visade en daglig variation i överensstämmelse med en signal från avdunstning. Ett exempel på den kortsiktiga signalen för avdunstning (evapotranspiration) presenteras för Kurö (Figur 8).



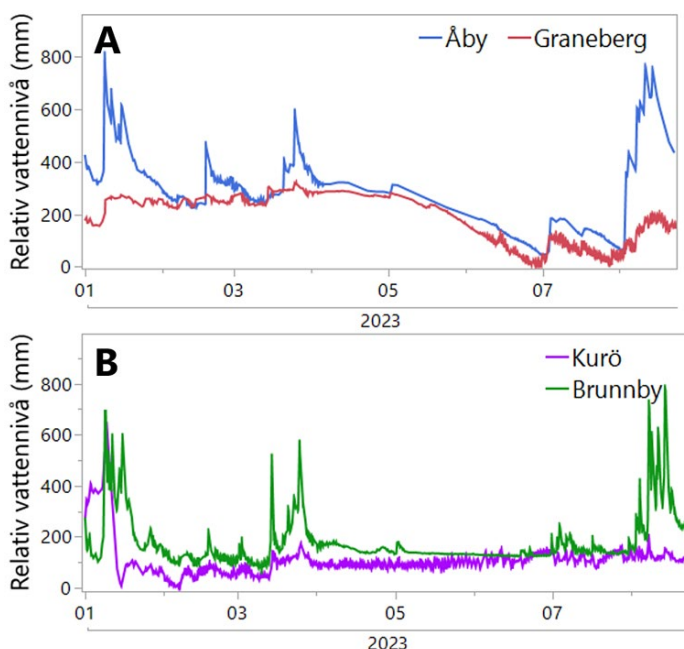
Figur 7. Relativ vattennivå i mm (slumpmässig vid påbörjan av mätserie, ej korrigerad för ex. m ö h) i nio våtmarker i Mälardalen under 2023. Information om, t.ex. våtmarksarea finns i Tabell 1.



Figur 8. Dygnsvariation i vattennivån vid Kurö (mm). Vattennivåerna sjunker under dagen (vitt fält) på grund av avdunstning och ökar under natten (blå). En nederbördshändelse den 22/5 orsakade en ökning av vattennivån.

Responserna i de 9 våtmarkerna skiljde sig under såväl snösmältning (januari–april), torra förhållanden (maj–juli) och en efterföljande nederbördsrik period. Fem våtmarker visar en tydlig snösmältningssignal där det förekom en ihållande ökning av vattennivån på 300–400 mm. Det fanns ingen tydlig snösmältningssignal för Alby, Wiggeby eller Graneberg. Sena vårtoppar i Alby, Wiggeby, Skämsta, Brunnby och Åby är förenliga med antingen kraftigt regn eller snösmältning.

Det fanns två distinkta tidsmässiga mönster under den nederbördsfattiga perioden maj–juli 2023. Sjunkande vattennivåer kunde observeras i exempelvis Åby och Graneberg (Figur 9a), där vattennivån uppvisade en lägstanivå under denna torra period. Detta skiljer sig från Kurö och Brunnby (Figur 9b) där vattennivån hade en stabil lägstanivå och inte sjönk nämnvärt under den torra perioden från maj–juli. Vår hypotes är att detta kan bero på faktorer som storlek på våtmark/storlek på avrinningsområde, design av inflöde/utflöde, grundvattenkontakt, placering i avrinningsområdet och markstruktur.



Figur 9. Relativ vattennivå i mm (slumpmässig vid påbörjan av mätserie, ej korrigerad för ex. m ö h) för våtmarkerna Åby, Graneberg (A), Kurö och Brunnby (B) under 2023.

3.3.2 Modellering

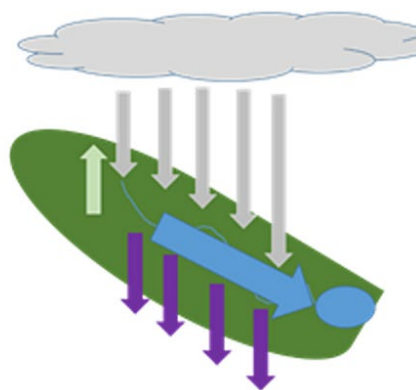
Förmågan hos avrinningsområdet att dämpa hydrologiska extremhändelser beror på mängden vatten i mark och våtmarker samt timingen i mängd nederbörd och timing av snösmältning. Mängden vatten i marken är relaterad till nederbörd, infiltrationskapacitet, avdunstning och avrinning. Infiltrationskapaciteten beror på hur mycket vatten som finns i marken (återstående lagringskapacitet) och hur snabbt nederbörd eller snösmältning kan tränga igenom marken. Vatten lämnar det terrestra delen av avrinningsområdet antingen som avdunstning eller avrinning. Avdunstning bidrar till att torka ut marken genom växttranspiration och andra processer. När avdunstning torkar ut marken ökar lagringskapaciteten. Avrinning från marken kan

antingen behållas tillfälligt i låga punkter i landskapet eller rinna ut i bäckar och diken. Vid för mycket avrinning till bäckar och diken kan översvämningar nedströms uppstå.

Potentialen för våtmarker att dämpa hydrologiska extremhändelser kan förstås utifrån en vattenbalans för avrinningsområdet (Figur 10). Nederbörd som faller på avrinningsområdet kan antingen infiltrera i marken eller bidra till avrinning. Vatten som har infiltrerats i marken kan bidra till att bibehålla vattennivåerna i våtmarken. Om våtmarken inte är helt fylld (dvs har kvarvarande lagringskapacitet) kan de fördröja vattnet och minska hastigheten på vattenflödet nedströms. Avdunstning kan vara en viktig del av vattenbalansen, särskilt under växtsäsongen, eftersom den kan öka lagringspotentialen för vatten både i mark och våtmarker.

Vattenbalans

- Nederbörd (N)
 - Evaporation (E)
 - Avrinning (A)
 - Infiltration / förvaring (I)
- $$N = E + A + I$$

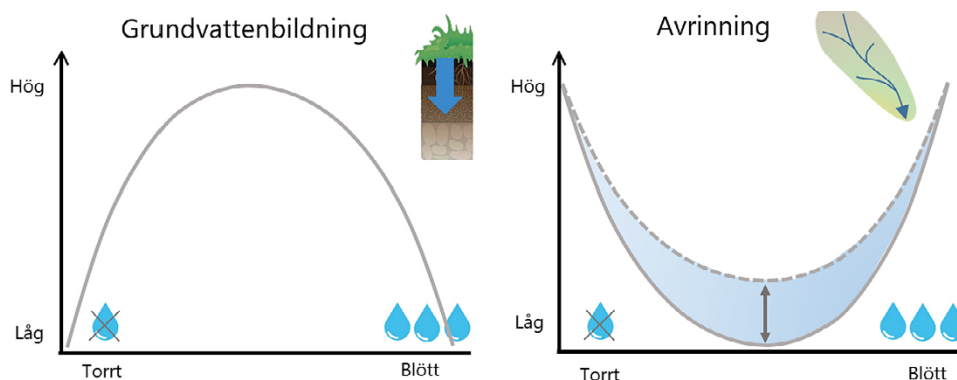


Figur 10. Vattenbalans på avrinningsområdesnivå som visar centrala hydrologiska processer för att förstå dämpningen av hydrologiska extremhändelser. En våtmark (blå oval) har ett område uppströms (mörkgrönt) som tar emot exempelvis nederbörd. Nederbörd (N) som faller på avrinningsområdet kan infiltrera (I) marken och bidra till markvatten och grundvatten, återgå till atmosfären som avdunstning (E) eller bidra till avrinning (A).

Dammar, våtmarker och andra sänkor i landskapet kan alla lagra vatten. Beroende på tidigare vattenlagring (det vill säga hur fulla de är med vatten) kan de ha förmåga att hålla tillbaka en del av vattnet som rinner av från marken. Tidigare vattenlagring beror både på tidigare nederbörd och hur våtmarkens utlopp designats (reglerad vattennivå).

När marken är mycket blöt är infiltrationskapaciteten låg eftersom det finns en begränsad volym för ytterligare vattenlagring (Figur 11). Vid dessa tillfällen (till exempel tidigt på våren efter snösmältning) är sänkorna i landskapet vanligtvis också fyllda med vatten. Infiltrationskapaciteten kan också vara låg i mark som påverkats av torka (Doerr m.fl. 2000), på grund av flera faktorer, inklusive förmåga att stöta bort vatten (hydrofobicitet) som förhindrar att marken blir blöt, eller att en hårdgjord yta skapats som fungerar som en barriär.

Avdunstningshastigheterna beror på markfuktighet, vegetationstäckning och lufttemperatur. Generellt sett ses högre avdunstningshastigheter på fuktig till måttligt fuktig mark med vegetationstäckning under sommaren. I Sverige är avdunstningen mycket liten utanför växtsäsongen.



Figur 11. Konceptuell modell av potentiell grundvattenbildning (till vänster) och avrinning (till höger) som en funktion av markfuktighet. Nederbörd eller snösmältning som inte avdunstar kan bidra till grundvattenbildning eller avrinning. När markfuktigheten är låg, kan grundvattenbildning vara långsam på grund av låg infiltration och ytavrinning. När markfuktigheten är hög kan grundvattenbildningen vara låg på grund av begränsad ytterligare vattenhållande kapacitet i marken.

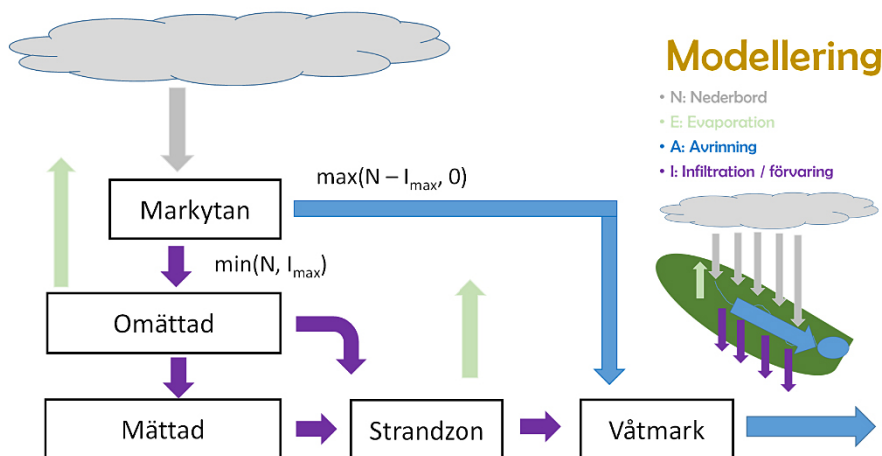
Den övervägande delen av nederbörd och snösmältning som inte kan infiltrera i marken bidrar till avrinning, medan en liten mängd återförs till atmosfären genom avdunstning. Följaktligen är andelen av nederbörd och snösmältning som bidrar till avrinning (och översvämningar nedströms) likvärdig jämfört med andelen som bidrar till infiltration (Figur 12). Detta betonar att ökning i markinfiltrationskapacitet eller våtmarkens vattenlagringskapacitet kan bidra till minskad översvämning nedströms.

Våtmarkers förmåga att dämpa hydrologiska extremer beror på nederbörd (N), infiltrationskapacitet i det omgivande avrinningsområdet (I) och vattenståndet i våtmarken (Figur 12). Våtmarker som visar liten eller ingen förändring i vattenståndet under torra perioder kan ha förmåga att dämpa torka, medan våtmarker som visar snabb ökning i vattenståndet efter nederbörd eller snösmältning kan ha förmåga att dämpa översvämningar.

De observationer som gjorts (i kapitel 3.3 Vattennivåvariationer) antyder en konceptuell modell för avrinningsområdets hydrologi som inkluderar förändringar i vattenståndet i våtmarker (Figur 7), baserat på den hydrologiska representation som är möjlig med PERSiST-modellen (Figur 12, Futter m.fl. 2014). I avrinningsområdet finns tre vertikalt staplade "förråd" som kan lagra eller frigöra vatten. Nederbörd och snösmältning kommer in i förrådet kallat "markytan". Om djupet av nederbörd och snösmältning (N) är mindre än den maximala infiltrationskapaciteten (I_{max}) infiltrerar allt vatten ner till förrådet "omättad". Om N är större än I_{max} genereras snabb avrinning till våtmarken (exempelvis snösmältning). Vatten som lagras i den "omättade zonen" kan rinna vidare till "strandzonen" som omger våtmarken, återvända till atmosfären som avdunstning eller infiltrera ytterligare i marken till den "mättade zonen".

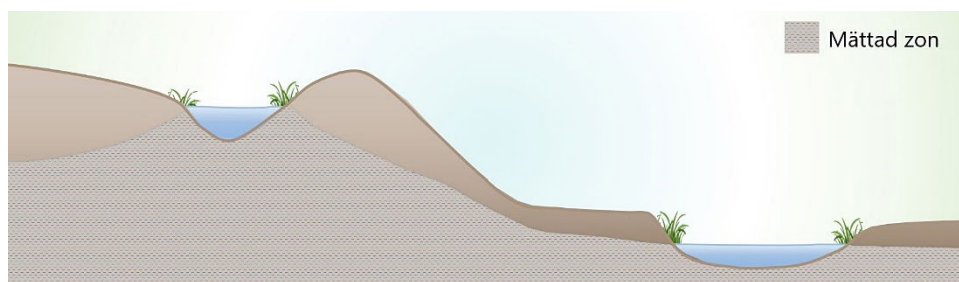
Vattnet i den "mättade zonen" kan bidra till att bibehålla vattennivåerna i "strandzonen". Strandzoner runt våtmarken som visar en minskning av vattennivån under växstsäsongen (t.ex. Åby, Graneberg, Figur 9a) får troligen vatten från både det "omättade" och "mättade" förråden. "Strandzonen" runt våtmarken där vattennivåerna förblir relativt konstanta under växstsäsongen (t.ex. Kurö, Brunnby, Figur 9b) får troligen huvudsakligen vatten från det "mättade" förrådet. Det är viktigt att notera

att sex av nio studerade våtmarker uppvisade till maximala vattennivåer under de kraftiga regn som föll under sensommar och höst 2023 (Figur 7), det antyder att infiltrationskapaciteten kan överskridas när som helst på året, men möjligen av olika skäl. Det är mest troligt att I_{max} överskrids på våren när avrinningsområdets jordar har begränsad eller ingen ytterligare vattenhållningskapacitet, medan överskridanden som är förknippade med kraftiga sommarregn kan avspegla processer som kontrollerar infiltrationen relaterade till torra.



Figur 12. Konceptuell modell av avrinningsområdets hydrologi för användning vid modellering av våtmarkernas vattennivåer. Pilarnas färg indikerar olika processer (lila = infiltration/grundvattenbildning, grön = avdunstning, blå = avrinning).

Våra resultat stödjer delvis resultaten från Åhlén m.fl. (2022), som föreslår att våtmarker längre ned i avrinningsområdet inte reagerar på icke-extrema enskilda sommarregnhändelser, medan våtmarker i området uppströms uppvisar säsongsbetingade minskningar av vattennivåerna. Eftersom våra mätningar utfördes under ett extremt år kan vi utvidga Åhlén:s m.fl. (2022) konceptuella modell och visa att nästan alla våtmarker kan uppvisa någon form av respons på extrema händelser, vilket vi hypotetiskt tror inträffar när infiltrationskapaciteten hos avrinningsområdets jordar överskrids. Våra resultat och de från Åhlén m.fl. (2021) föreslår en konceptuell modell av landskapet (Figur 13) där våtmarker högre upp i landskapet har god potential att dämpa översvämningar medan de lägre i landskapet har större möjligheter att mildra torra. Oavsett plats i landskapet kommer våtmarker troligen att ha någon förmåga att dämpa snösmältning och kraftiga sommarregn genom att fylla den "omättade"-zonen.



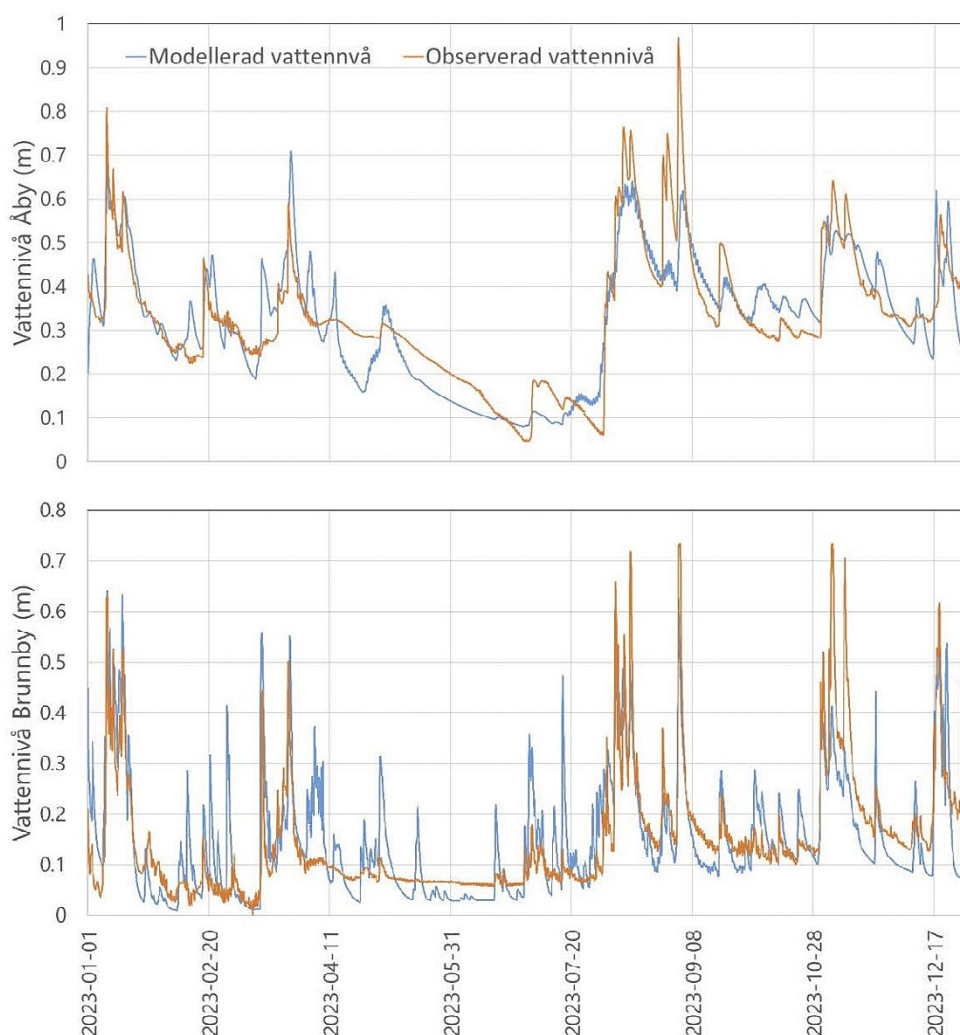
Figur 13. Konceptuell modell av hur positionen i landskapet påverkar våtmarkers potential att dämpa hydrologiska extremhändelser. Våtmarker högt upp i avrinningsområdet med begränsad tillrinning från den "mättade"-zonen (vänster sida) kan troligen dämpa effekterna av lokaliserade översvämningar, medan våtmarker längre ner i landskapet med bättre anslutning till den "mättade"-zonen (höger sida) kan mildra effekterna av torka.

3.3.3 Preliminära modelleringsresultat

Vattennivå har simulerats i PERSiST för Åby (övre panelen, Figur 14), Brunnby (nedre panelen, Figur 14) och Graneberg (inte visad). Kling Gupta Efficiency (KGE) för Åby-simuleringen var 0.86, 0.77 för Brunnby, och simuleringar med en KGE > 0.65 erhöles för Graneberg. Åby simulerades med en vertikalt staplad boxstruktur (4 st), inspirerad av modellen HYPE (Lindström m.fl. 2010). Det var inte möjligt att få trovärdiga simuleringar för varken Brunnby eller Graneberg med denna struktur. Brunnby simulerades framgångsrikt med den konceptuella strukturen presenterad i Figur 12. Preliminära simuleringar för Graneberg med den konceptuella strukturen föreslagen av Medici m.fl. (2008) kunde reproducera vissa aspekter av observerad vattennivådynamik men mer arbete behövs.

Åby-simuleringarna (övre panelen Figur 14) återskapar de större hydrologiska händelserna som inträffade under 2023, inklusive snösmältning, sommartorka och sena sommarregn som ledde till ökade vattennivåer. Det finns vissa skillnader i magnitud mellan observerade och modellerade nivåer, vilket tyder på att ytterligare utforskning av parameterrummet behövs för att hitta optimala parametrar för klimatförändringssimuleringar.

Brunnby-simuleringarna (nedre panelen Figur 14) återskapade tidpunkten och ungefärlig magnitud av vår-, sena sommar- och höstvariationer. Dock lyckades inte simuleringarna fånga de relativt konstanta vattennivåerna som observerades under sommaren 2023. Liksom med Åby indikerar skillnaderna mellan modellerade och observerade vattennivåer behovet av ytterligare utforskning av parameterrummet.



Figur 14. Observerad (orange) och modellerad (blå) vattennivå (m) för Åby (övre) och Brunnby (nedre) under 2023.

3.3.4 Omfördelning av nederbörd

Det råder en allmän uppfattning om att nederbörden blir mer extrem och att både översvämningar och perioder av torka blir allt vanligare. Hittills är dessa hydrologiska extremhändelser bristfälligt representerade i resultaten från klimatmodeller. En lösning på detta är att i modeller använda modifierade nederbördstidsserier där nederbörden omfördelats för att inkludera mer extrem nederbörd och/eller längre perioder av torka (Ledesma m.fl. 2021). Vi har utvecklat en metod för detta som bevarar den totala nederbördsmängden, men ökar nederbördsmängden under dagar som redan har stora mängder nederbörd (Laguna Marin 2023). De preliminära resultaten från tillämpningen på ett avrinningsområde i Mälardalen antyder att sommarflöden med hög vattenföring kommer att bli vanligare i framtiden.

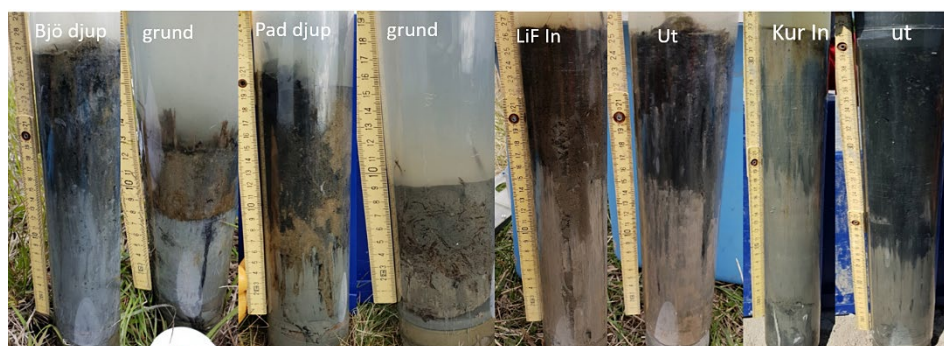
3.4 Avrinningsområdesfaktorer

För de 40 undersökta våtmarkerna varierade storleken på avrinningsområdena mellan 15 och 1400 ha och våtmarksytan mellan 130 och 13200 m². Detta innebär att våtmarkerna var relativt små (medel 0,7 %) i förhållande till uppströms område, men varierade från 0,04 % upp till 5 %. Den hydrauliska belastningen varierade mellan 4 och 507 m/år. Det var ingen skillnad i storlek mellan regionerna, medan andel jordbruksmark och jordar i tillrinningsområdena skiljde sig. Andelen jordbruksmark i avrinningsområdena var högre i Halland (medel 78 %) jämfört med i Mälardalen (medel 59 %), medan andelen skog var lägre (medel 11 % respektive 39 %). Det var signifikant skillnad i texturen mellan de finkorniga jordarna i Mälardalen (medel 41 % ler, 40 % mjäla och 19 % sand) och grövre jordarna i Halland (medel 63 % sand, 26 % mjäla och 11 % ler). Det var även en skillnad i växttillgänglig fosfor som var i snitt dubbelt så hög i Halland (P-AL 10,4 mg/100 g) jämfört med i Mälardalen. Även om marklutningen också var högre i Halland resulterade de erosionskänsliga jordarna i Mälardalen till att erosionsrisken var större i Mälardalen (erosionsrisk-klass 4 jämfört med 6,3).

3.5 Näringsretention

3.5.1 Sedimentackumulation i 40 våtmarker

Sedimentprovtagningen i de 40 undersökta våtmarkerna, visade på en skillnad i sedimentets karaktär mellan regionerna och ibland inom våtmarkerna (Figur 15). I vissa våtmarker var det svårt att urskilja vad som var botten på våtmarken, speciellt om vid stor andel organiskt material. För en del av våtmarkerna i Halland var bakgrundsinformationerna bristfälliga, ex. tid för anläggning av våtmarken saknades (pga nyförvärvad mark eller dödsfall). Det blev därför svårt att uppskatta ackumulerings-hastigheten. I några våtmarker hade det ackumulerats väldigt mycket sediment, så provtagningsrören inte räckte till då de var för korta.

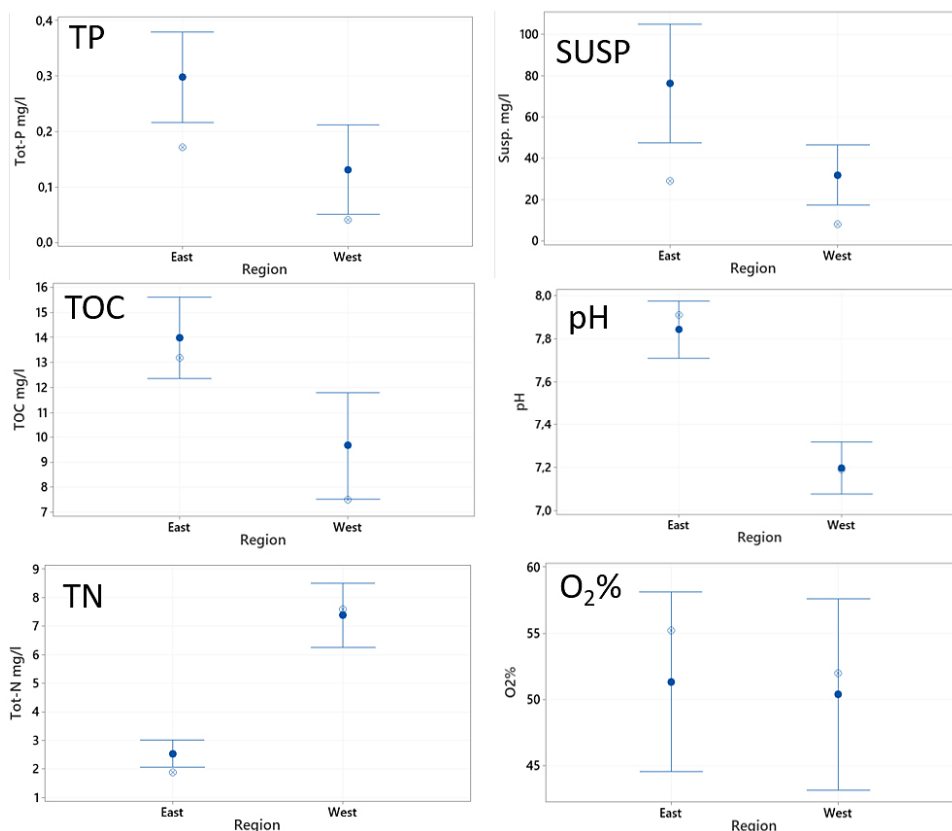


Figur 15. Sedimentkärnor tagna i djup- respektive grunddel av fosfordammarna Björnhagen och Paddeborg samt vid inloppet respektive utloppet av Kurö och Lilla Fågelbo våtmark.

Fosforkoncentrationen varierade mellan 320 och 2060 mg per kg jord (median 745 mg/kg), utan någon skillnad mellan de olika regionerna. Fosforackumulationen var starkt korrelerad till mängden partiklar som ackumulerats och inte till fosforkoncentrationen i sedimentet (Figur 16). Den genomsnittliga totala ackumulerade

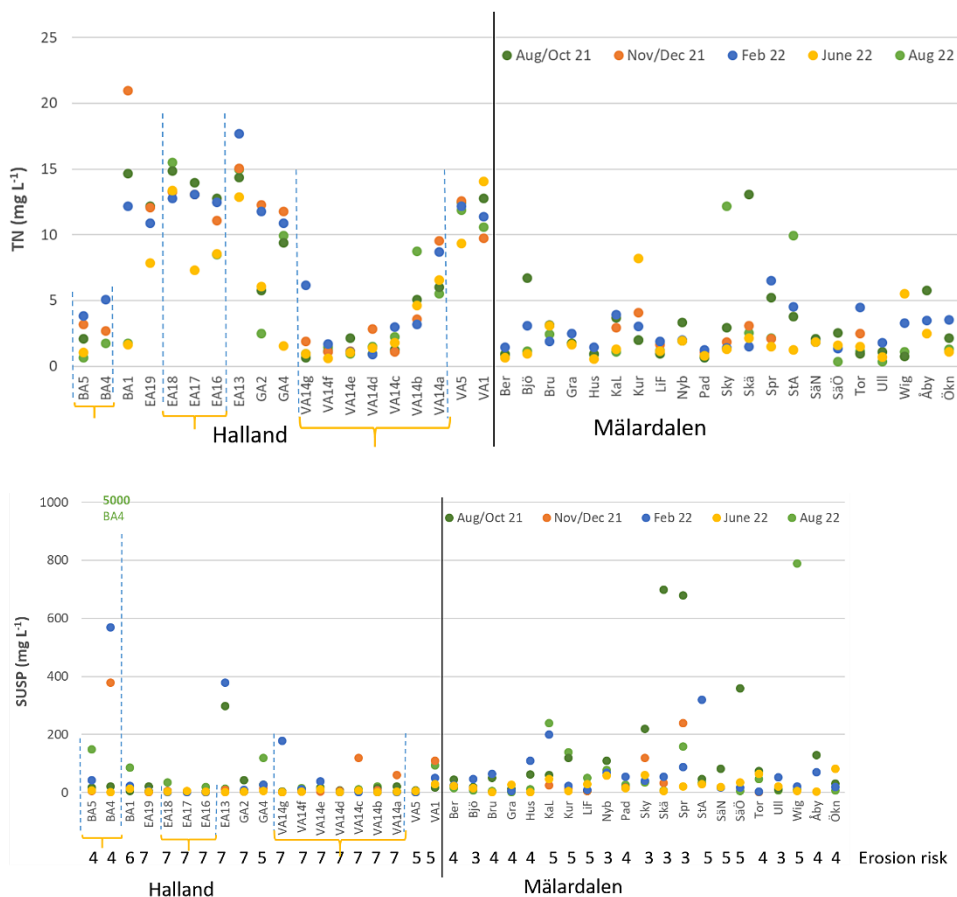
3.5.2 Vattenkvalitet i 40 våtmarker

Den synoptiska vattenprovtagningen visade en skillnad i inflödande halter mellan de två regionerna i östra respektive västra Sverige (Figur 18). Våtmarkerna i Mälardalen hade högre halter av fosfor, suspenderat material, kol, pH, medan de halländska våtmarkerna hade högre kvävehalter. Det var dock ingen skillnad i syrgas mellan regionerna.



Figur 18. Skillnader i vattenkvalitet (mg/l) mellan våtmarkerna i Mälardalen (East) och Halland (West). Synoptisk vattenprovtagning av fosfor (TP), suspenderat material (SUSP), totalt organiskt kol (TOC), pH, totalkväve (TN) och syrgas (O₂).

Även om kvävehalterna generellt var högre i Halland fanns det några våtmarker som hade lägre halter (BA5 & 4). VA14 bestod av sju sammankopplade dammar där halterna steg mot utloppet, detta förmodligen från extra tillflöde från jordbruksmarken längre ner vid femte våtmarken (Figur 19, 20).



Figur 19. Variationer i koncentrationer av totalkväve (TN) och suspenderat material (SUSP) från den synoptiska provtagningen vid olika säsonger i 40 våtmarker. De våtmarker som är sammankopplade i Halland indikeras med streckade linjer, från uppströms (vänster) till nedströms (höger). Erosionsrisk, där 1 indikerar högst risk för erosion och 7 lägst.

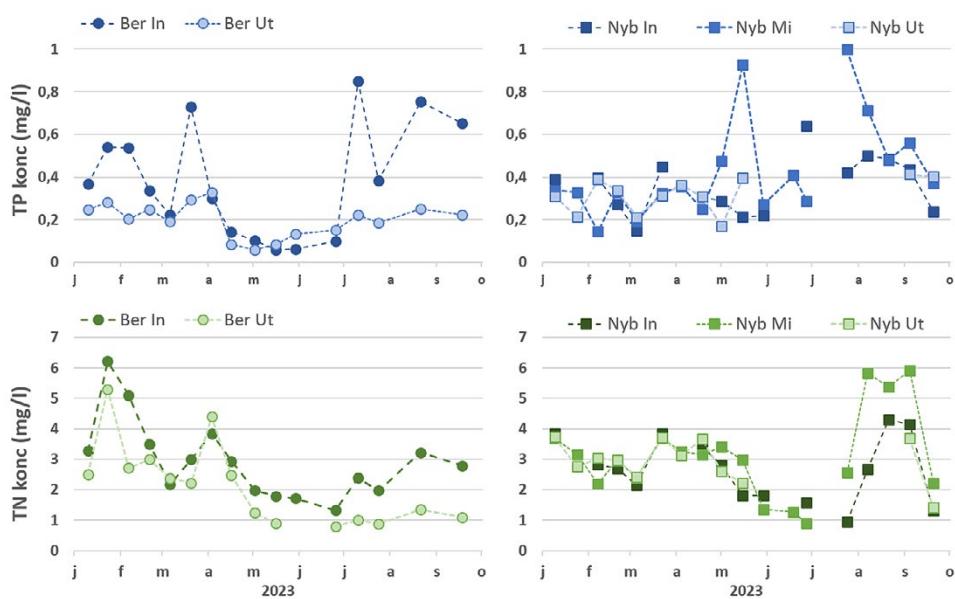


Figur 20. Våtmark VA14 bestod av sju sammankopplade dammar (a–g), där g är den första dammen högst upp i systemet. En kraftig sluttning ner från jordbruksfältet visas med vita pilen.

3.5.3 Vattenkvalitet i två fosfordammar

Flödesproportionell vattenprovtagning utfördes varannan vecka under 2023 i två fosfordammar i Mälardalen. Preliminära analysresultat visar att inflödande fosforhalter var lägst under sommaren och det var endast då utloppshalterna var högre än inloppshalterna i Bergaholm fosfordamm (Figur 21). Sommartorkan i juni 2023 orsakade troligen syrefattiga förhållanden som frigjorde järnbundet fosfor från sedimenten. I Nybble fosfordamm var det mindre variation i inflödande fosforhalt under året och det var mindre skillnad mellan inflödande och utflödande fosforhalter. I början av maj spreds stallgödsel på fälten längs med Nybble fosfordamms sida, vilket ledde till att fosforkoncentrationen i efterföljande prov var högre i mätpunkten i mitten jämfört med inloppshalterna. Även om fosforkoncentrationen sjönk innan utloppet, var utloppshalten högre än inloppshalten. Det samma gäller för totalt organiskt kol som inte syns i figuren (Figur 21) och för kväve men inte i lika stor topp. Kvävehalterna steg å andra sidan i Nybble under den regniga hösten. Till skillnad från i Bergaholm, där kvävehalterna var högst under början på året.

Provtagningen pågår fortfarande året ut och retentionen kommer beräknas under våren 2024. Den här provtagningen har varit väldigt viktig för att upprätthålla tidsserien från det att fosfordammarna anlades och för att fånga variationerna under detta extremår, med torka i början på sommaren som följdes av extremt intensiva regn. Detta ger en unik möjlighet att utvärdera hur små fosfordammar klarar att hantera extremväder.

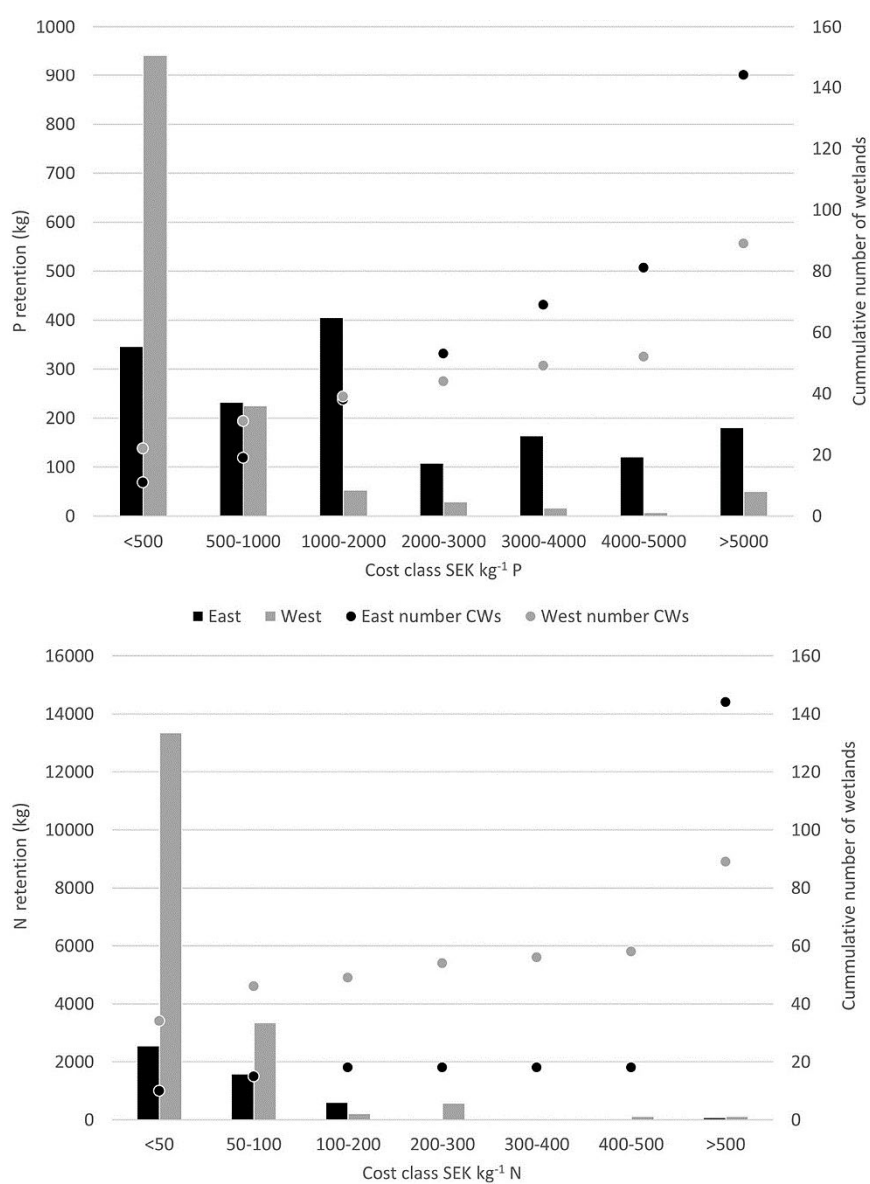


Figur 21. Koncentrationer av totalfosfor (TP) och totalkväve (TN) från flödesproportionell provtagning under jan-okt 2023 i Bergaholm och Nybble fosfordamm. Prover är tagna vid inlopp (In) respektive utlopp (Ut) samt mellan den djupa och grunda delen (Mi) i Nybble fosfordamm.

3.5.4 Placering och storlek avgörande för näringsrening

Utvärderingen av befintliga våtmarkers kostnadseffektivitet (Djodjic m.fl. 2022), visade att spridningen var stor och skiljde sig mellan de två undersökta regionerna: Öst (Nyköpingsån, Svärtaån och kustområde 63/64) och Väst (Råån, Vegeå och

kustområde 94/95). Resultaten visade att om våtmarker placeras på rätt plats är det en väldigt kostnadseffektiv åtgärd, <500 kr/kg P och < 50 kr/kg N (Figur 22). däremot var det drygt 40 % av våtmarkerna i båda regionerna som var i den lägsta kostnadseffektivitetsklassen för fosfor (> 5 000 SEK per kg). För kväve var variationen större, majoriteten av våtmarkerna i öst (88 %) och 35 % i väst hade den lägsta kostnadseffektivitetsklassen (> 500 SEK per kg). Eftersom det generellt är högre kväveförluster från sandjordar och högre fosforförluster från ler- och siltjordar förväntades högre rening av kväve i väst och fosfor i öst. Men då andelen jordbruksmark endast var 15 % i öst och 60 % i väst, var näringsbelastningen och därmed reningen av både kväve och fosfor högre i väst. Resultaten visar att om våtmarker placeras på rätt plats är det en väldigt kostnadseffektiv åtgärd, < 500 kr/kg P och < 50 kr/kg N.



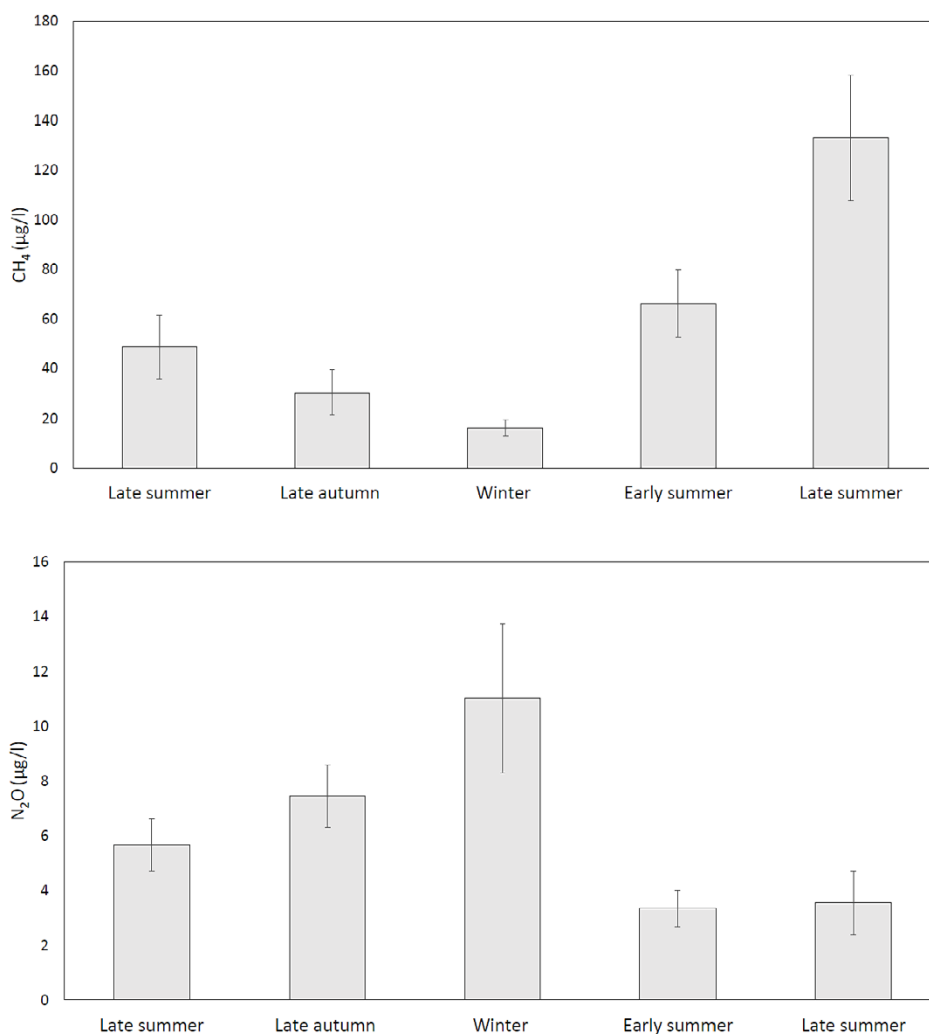
Figur 22. Näringsretention (fosfor och kväve) och kumulativt antal våtmarker (CW, constructed wetland) i olika kostnadseffektivitetsklasser (SEK per kg P/N ha⁻¹ år⁻¹) i Halland (West) och Mälardalen (East) (Djordjic m.fl. 2022).

3.6 Växthusgaser

Koncentrationerna av löst metan och lustgas strax under vattenytan mättes dels genom synoptisk provtagning under olika säsonger i de 40 anlagda jordbruksvåtmarkerna i WetKit och dels i de 18 experimentella våtmarkerna där Halmstad Högskola undersökte kväverenande och flödesreducerande förmåga.

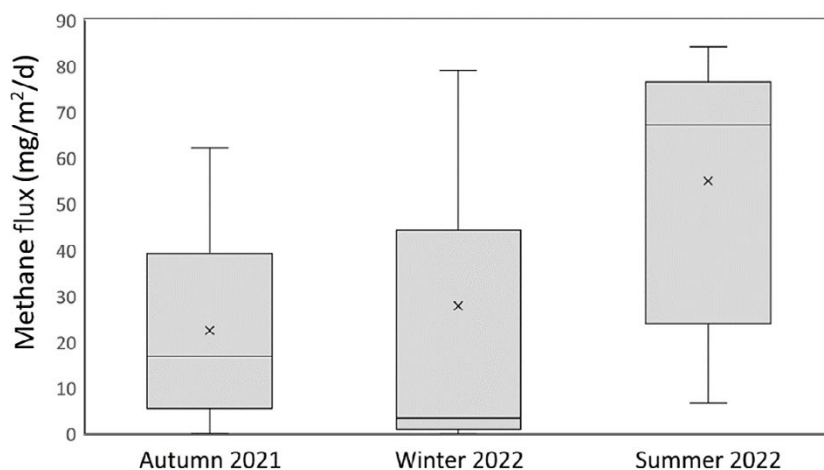
3.6.1 Metanavgång i 40 anlagda jordbruksvåtmarker

Metankoncentrationerna i vattnet varierade under året, där de lägsta koncentrationerna uppmättes under vintern och de högsta under sensommaren (Figur 23). En positiv korrelation med vattentemperatur, klorofyll *a*, organiskt kol samt organiskt och inorganiskt kväve har observerats. Variation mellan undersökta våtmarker uppvisades, då metankoncentrationerna var högre i våtmarker med hög näringshalt och låg syrehalt.



Figur 23. Medelvärden och variationen i löst metan (ovan) och lustgas (nedan) under olika säsonger från den synoptiska provtagningen i 40 våtmarker (Peacock m.fl. under förberedelse).

Mätningar av metanebbulition i sex av våtmarkerna visade att en stor andel av metan avgår genom bubblor som bildas på våtmarkens botten (Figur 24). I medel stod ebbulitionen för 67 % av den totala metanavgången (Peacock m.fl. under förberedelse).

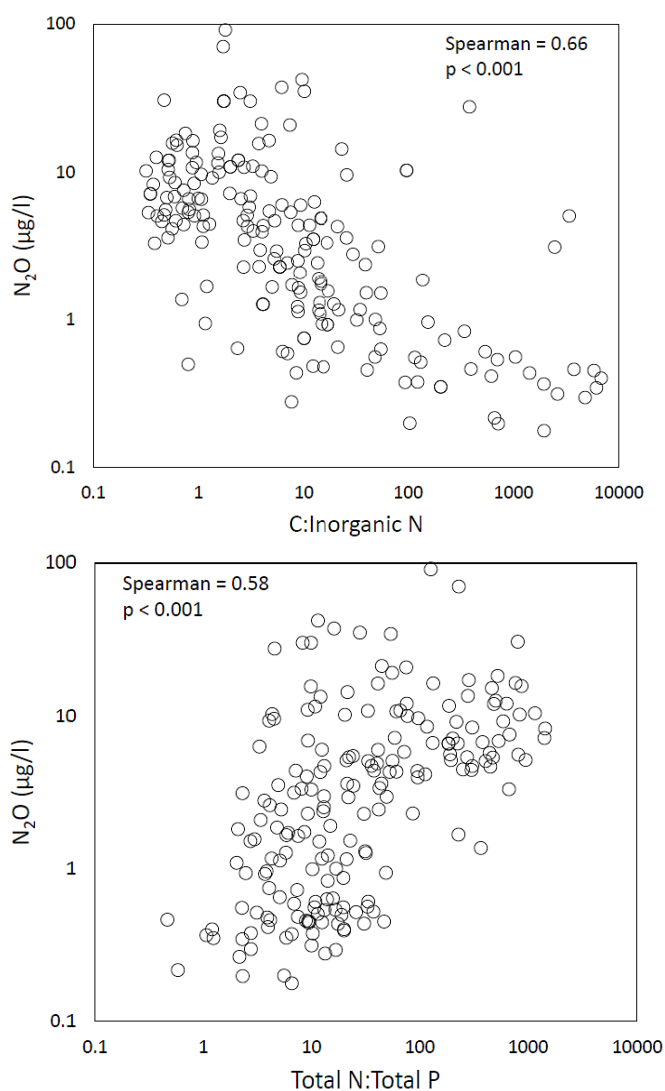


Figur 24. Metanavgång (mg per våtmarksyta m^2 och dag) uppmätt med nio flytande kamrar i sex våtmarker under olika säsonger.

3.6.2 Lustgasavgång i 40 anlagda jordbruksvåtmarker

Lustgaskoncentrationerna å andra sidan var högst under vintern och lägst på sommaren. Lustgas var positivt korrelerat med totalkväve och inorganiskt kväve samt negativt korrelerat med pH, vattentemperatur, klorofyll *a*, organiskt kol och totalfosfor. Ju mer kväve desto större är risken att inte allt omvandlas till kvävgas utan stannar vid lustgas. Kväve förbrukas snabbt av växter och mikrober under sommaren, vilket förklarar de lägre lustgaskoncentrationerna sommartid. Vattenlöst lustgas var högre i våtmarker med mycket kväve, lågt pH och låg kolhalt samt fosfordammar. Lustgashalten ökade när proportionen av inorganiskt kväve till kol ökade (Figur 25).

Lustgaskoncentrationerna ökade även när proportionen av totalkväve mot totalfosfor ökade (Figur 25). Detta kan delvis bero på faktorer som nämnts ovan, exempelvis att mer kväve leder till mer lustgas eller att mer fosfor leder till att kväve minskar, vilket resulterar i kvävebegränsning och lustgaskonsumtion.



Figur 25. Spearmans korrelation (0,66 $p < 0,001$) mellan koncentrationen löst lugas och kol:nitrat-kvoten (ovan) och kväve:fosfor-kvoten nedan (Peacock m.fl. under förberedelse).

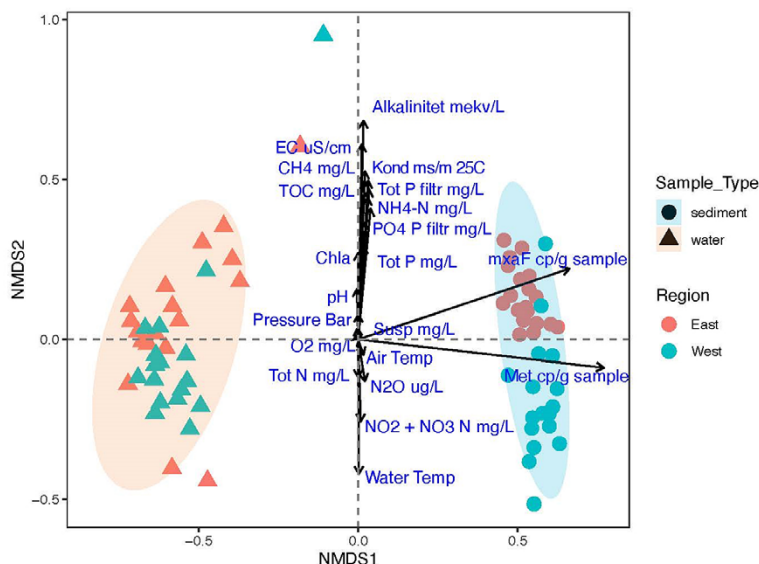
3.6.3 Metanogener/metanotrofer

Antal metanproducerande och konsumerande mikrober varierade stort mellan de olika våtmarkerna. Metanogener är mikrober som producerar metan i våtmarkernas sediment. Ett positivt samband fanns till fosforhalt och negativt till kväve, samma mönster uppvisades för metankonsumerande metanogenerna i vattenkolumnen. Metanogenabundansen ökade också med syre och organiskt kol (Peacock m.fl. under förberedelse).

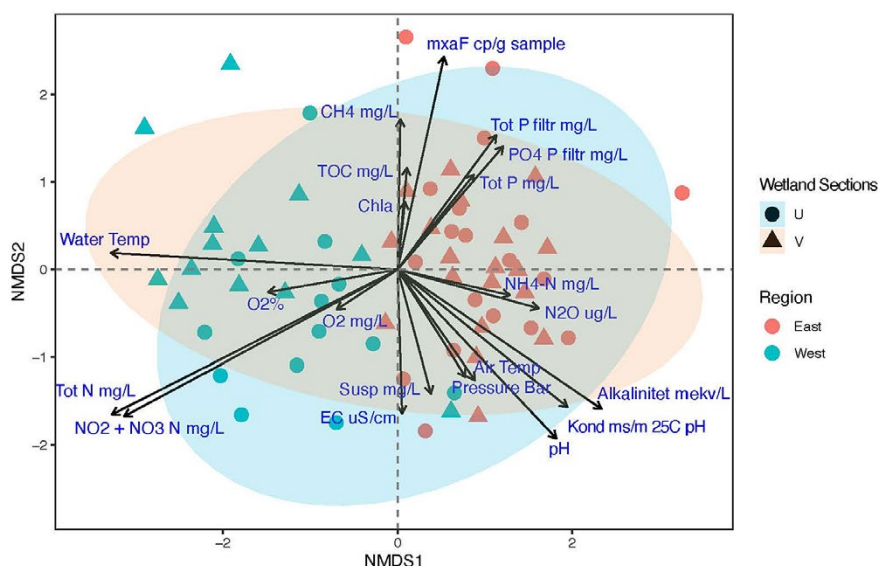
Det fanns en klar skillnad i mikrosamhället mellan våtmarkerna i Halland och Mälardalen både under sommaren (Figur 26) och vintern (Figur 27). Däremot var det ingen tydlig skillnad mellan våtmarkssektioner med och utan vegetation. Skillnaden i mikrobiell sammansättning beror sannolikt på den varierande fosfor- och kvävehalten i de olika regionerna. Metankoncentrationen visade en positiv korrelation med koncentrationen av totalt organiskt kol och fosfor samt antalet metanotrofer (mx_AF genkopior per gram prov) oavsett säsong. Detta indikerar att en ökning av

dessa två näringsämnen gynnade mikrober som är involverade i metacykeln i anlagda våtmarker, oavsett våtmarkssektion (dvs med eller utan vegetation).

Provtagning under augusti 2022 visade en markant skillnad i det mikrobiella samhällets struktur mellan provtyper, det vill säga vatten- och sedimentprover. Inom varje provtyp påverkas det mikrobiella samhället av varierande nivåer av fosfor och kväve i både Mälardalen och Halland. Omvänt, för sommarprover, visade konduktivitet (ECuS/cm), alkalinitet och pH en positiv korrelation med metankoncentrationen, vilket är motsatsen till vad som har observerats i vinterproverna. Dessutom visar antalet metanogener en mindre positiv korrelation till metanotroferna, vilket tyder på att aktivitetsdynamiken mellan dessa två grupper av mikroorganismer (i stället för deras förekomst) bestämde nettoproduktionen av metan under sommaren. Denna metaboliska dynamik regleras sannolikt av näringsstillförsel och vattentemperatur i de anlagda våtmarkerna.



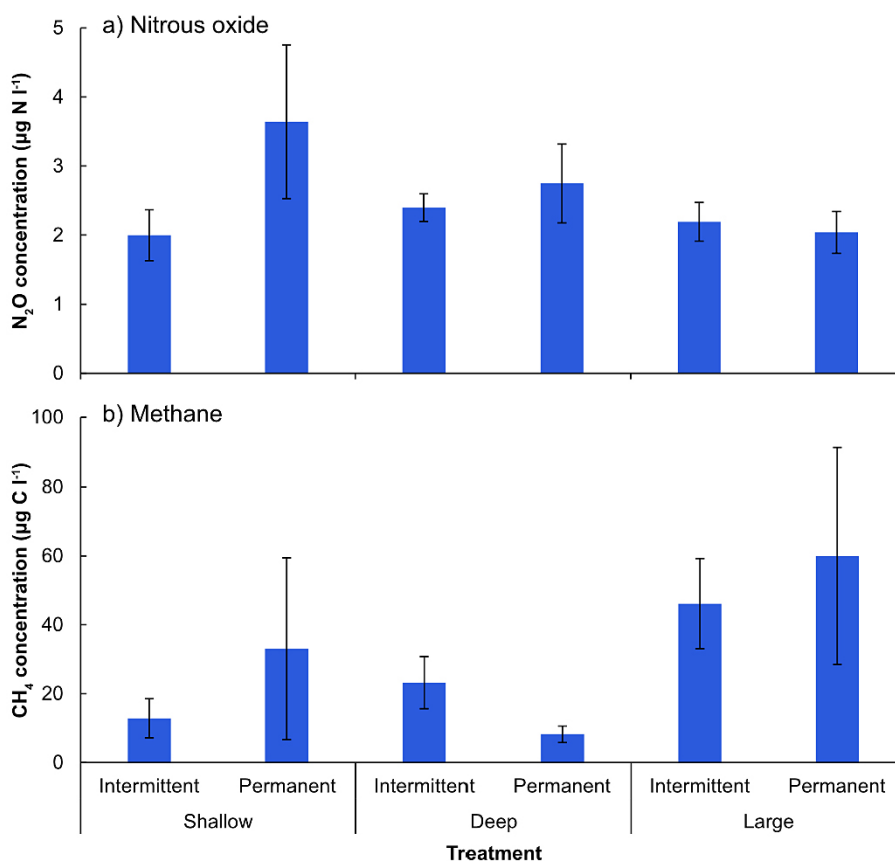
Figur 26. Icke-metrisk multidimensionell skalningsanalys (NMDS) baserad på ASV-avläsningar av 16S rRNA-genen som visar mikrosamhällets relativa abundansstruktur i vattenprover (trianglar) och ytsediment (cirklar) under sommaren 2022 i 19 våtmarker i Halland (blå:West) och 21 i Mälardalen (röd:East). Vilka parametrar som samvarierar/är orelaterade visas med riktning och längd på pilar (vattentemperatur, TOC, P, N, O₂, pH, alkalinitet, konduktivitet, löst koncentration av lustgas och metan, metanotrofer-mxaF och metanogener-Met).



Figur 27. Icke-metrisk multidimensionell skalningsanalys (NMDS) baserad på ASV-avläsningar av 16Sr RNA-genen som visar mikrosamhällets relativ abundansstruktur i vattenprover från olika våtmarkssektioner med öppen vattenyta utan vegetation (U:cirklar) jämfört med vegetation (V:trianglar) under februari 2022 i 19 våtmarker i Halland (blå:West) och 21 i Mälardalen (röd:East). Relationen mellan vattenkemiparametrar, metanotrofer (mxaf) och metanogener (Met) visas med pilarna.

3.6.4 Metan och lustgas i 18 experimentella våtmarker

Med hjälp av 18 replikerade experimentella våtmarker på Halmstad Högskola undersöktes effekterna av dynamisk vattenhantering för förbättrad vattenlagringskapacitet under översvämningar på kväverening och avgång av växthusgaser. Resultaten belyser möjligheten att kombinera de två ekosystemtjänsterna översvämningsminskning och kväverening utan att öka avgången av växthusgaser, beroende på våtmarkens utformning (Figur 28, Nilsson m.fl. under förberedelse). I detta specifika experiment var grunda våtmarker mest troliga att uppvisa hög kväverening och vattenfördröjning samtidigt, medan djupa och stora våtmarker avlägsnade mindre kväve när vattenretentionen ökade. Inga skillnader i växthusgasutsläpp observerades mellan våtmarker med hög eller låg vattenlagringskapacitet.



Figur 28. Vattenkoncentrationer av lustgas (a) och metan (b) mätta vid utloppet av de 18 experimentella våtmarkerna vid Halmstad Högskola. Våtmarker med olika utformning (djup eller grund) och permanent vattennivå eller varierande vattennivå samt större våtmarker undersöktes. Kolumnerna representerar genomsnittskoncentration per behandling, felstaplar representerar standardavvikelse (Nilsson m.fl. under förberedelse).

3.7 Biodiversitet

Biologisk mångfald är ett brett begrepp och beroende på vilka arter som önskas gynnas behöver våtmarkens utformning, placering och skötsel anpassas. Oftast är våtmarker som anläggs med syfte att gynna biologisk mångfald större än de för näringsrening, detta visar resultat från en utvärdering av våtmarker som anlagts med LBP 2007–2020 (Figur 29). En anledning kan vara att större våtmarker gynnar olika fåglar, även om nya studier visar att även många små våtmarker är minst lika bra för antalet fåglar (Kačergytė et al 2021a). De utformas oftast flikiga, med mycket flacka kanter och häckningsöar för att skapa många olika habitat (Figur 5). En irregulär form är raka motsatsen till vad som är bra för näringsreningen, men våtmarker som anläggs i jordbrukslandskapet med syfte att rena näring eller för flödesdämning kan utformas med flacka stränder för att skapa gynnsamma habitat för flera växter och djur (Figur 5, Hambäck m.fl. 2022; Geranmayeh m.fl. under förberedelse). Däremot är det inte bra att ha fiskar eller kräftdjur i näringsvåtmarker, som virvlar upp partiklar och fosfor som lagrats i våtmarkens sediment. Det är inte bara mellan olika ekosystemtjänster som det kan finnas motsättningar, utan även mellan olika arter. Det är till exempel inte bra att inplantera en predator som fisk om syftet är att gynna groddjur (Kačergytė et al. 2021b). Skötsel kan gynna vissa

arter och missgynna andra (Geranmayeh m.fl. under förberedelse). Dessutom kan betande djur som går ner i våtmarken och utfodring av änder skapa erosionsproblem och bidra med spillning som orsakar sämre vattenkvalitet.

Vidare har en våtmarks näringsstatus påverkan på biodiversiteten. Vid en undersökning av 17 våtmarker i Uppland (varav Graneberg och Lilla Fågelbo ingår) konstaterades ett samband mellan näringsstatus, växthusgasproduktion och uppkomst av fjädermyggor (Åhlén m.fl. 2023). Mer specifikt hade halten klorofyll *a* effekt på dels hur snabbt fjädermyggor fortplantar sig, men också hur många olika arter som återfanns. Detta kan förklaras med att alger och fytoplankton utgör föda för mygglarverna och tillväxten av fyroplankton styrs av mängden tillgänglig fosfor.

3.8 Hinder vid anläggning av våtmarker

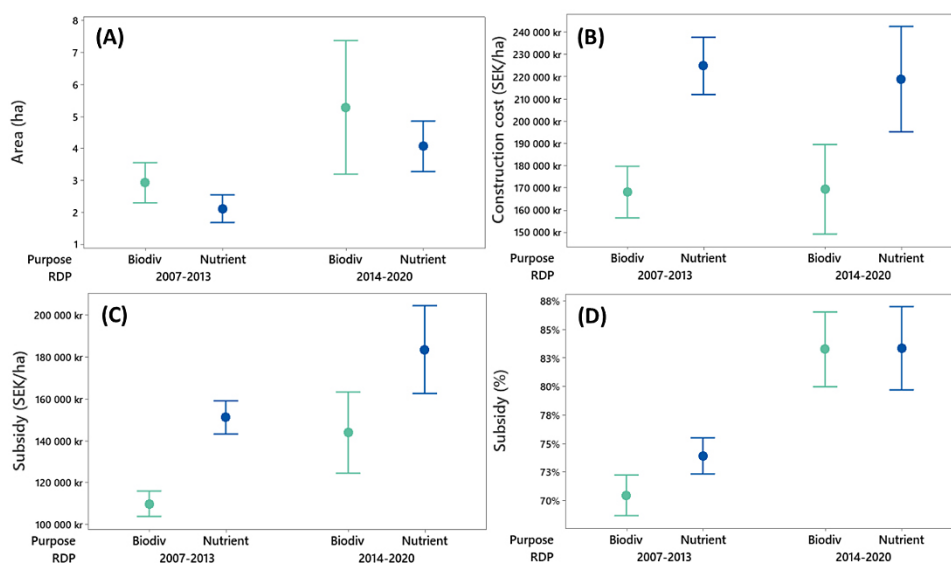
3.8.1 Svårt med riktade insatser utan öronmärkt budget

Ett sätt att öka kostnadseffektiviteten är att ha tydliga mål. Inför programperioden 2014 fick Länsstyrelserna specificera hur mycket av deras budget som skulle gå till våtmarker för biologisk mångfald eller näringsretention, investeringar i förbättrad vattenkvalitet och tvästegsdiken. Resultat från vår utvärdering visar att en del län uppnådde målen för biologisk mångfald och andra uppnådde målen för näringsrening (Geranmayeh m.fl. 2023). Det är svårt att styra frivilliga åtgärder och uppnå mål när de våtmarksprojekt som kommer in styrs av enskilda markägares, handläggares och regioners intresse samt att det går att flytta pengar mellan olika miljöåtgärder. För att implementera fler kostnadseffektiva åtgärder krävs öronmärkt budget för respektive syfte och tydliga kriterier.

3.8.2 Avvägning mellan olika funktioner

Våtmarker kan bidra med många ekosystemtjänster, men svårigheten är att kunna göra avvägningar när det kan uppstå oönskade utsläpp. Det finns väldigt få studier som mäter alla ekosystemtjänster i samma våtmark därför är kunskapen om synergier och avvägningar bristfällig (Hambäck m.fl. 2022) och behovet stort att studera detta vidare i framtiden.

Resultaten från de våtmarker som anlagts inom LBP 2007–2020 visar att det finns en tydlig skillnad mellan våtmarker som anläggs med syfte att rena näring eller att gynna biologisk mångfald (Geranmayeh m.fl. 2023). Våtmarker vars huvudsyfte är att gynna biologisk mångfald hade en signifikant större anläggningsyta (median 2,6 ha) jämfört med näringsvåtmarker som i snitt var 1,0 ha (Figur 29). Den större ytan i kombination med enklare anläggningsätt genom dämning resulterade i betydligt lägre anläggningskostnad per våtmarksareal (~168 000 kr/ha). Våtmarker för näringsretention anläggs genom att fördjupa områden och därmed grävs näringsrik matjord bort och det kostar mer att föra bort schaktmassorna (~224 000 kr/ha). Detta har även en viktig funktion för att hindra att våtmarken blir en källa av fosfor när jordbruksmarken blötläggs och skapar syrefria förhållanden som annars riskerar att frigöra järnbundet fosfor. Ungefär hälften av LBP våtmarkerna har anlagts med vardera huvudsyfte (Figur 29), vilket innebär att det riskerar att finnas många våtmarker som är fosforkällor. I Danmark har studier visat att våtmarker som restaurerats genom dämning läckt fosfor i flera år (Audet et al. 2020) vilket lett till ett krav på fosforriskanalys vid anläggning.



Figur 29. Våtmarker som anlagts med finansiering från Landsbygdsprogrammet under 2007–2020 (Geranmayeh m.fl. 2023). A) våtmarkernas anläggnings yta (ha), B) anläggningskostnad (kr/ha), ersättning (kr/ha och % av anläggningskostnaden) vars huvudsyfte är biologisk mångfald (grön) eller näringsrening (blå).

3.8.3 Vikten av markägarförtroende

I länder där genomförandet av politiken bygger på frivilligt deltagande spelar miljörådgivare inom jordbruket en viktig roll för att informera och motivera markägare. Våtmarksrådgivarna inom Greppa Näringen ansåg sig uppmuntra lantbrukarna att anlägga eller återställa våtmarker, inte bara genom att ge information och råd, utan främst genom att utveckla relationer som skapar förtroende och ökar lantbrukarnas motivation (Geranmayeh m.fl. 2024). Det ansågs särskilt viktigt att rådgivarna tog sig tid och lyssna på markägarnas kunskap om sin egen mark och deras motivering att anlägga en våtmark (rekreation, jakt, skridskoåkning etc.). Markägarnas motivering skiljde sig ofta från *Greppa Näringens* fokus på näringsämnen. Det fanns ett ökat intresse för bevattningsdammar efter det torra året 2018. Rådgivarna kände generellt att det fanns för kort tid för rådgivning och att det var få som haft rådgivning om våtmarksskötsel.

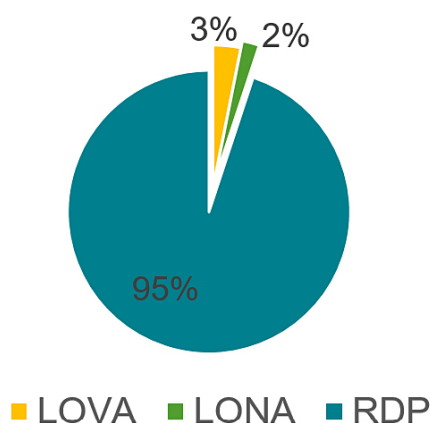
3.8.4 Komplicerade finansieringssystem och brist på kriterier

I dagsläget finns tre olika finansieringsmöjligheter genom LBP/CAP, LOVA och LONA (Tabell 2). Undersökningen visar att det är främst LBP (95 %) som använts för våtmarksanläggning under 2007–2020, medan LOVA och LONA står endast för några få procent (Figur 30, Speks 2021).

Tabell 2. Jämförelse av de tillgängliga finansieringsstöden för anläggning av våtmarker: Landsbygdsprogrammet (LBP/CAP), Lokala Vattenvårdsprojekt (LOVA) och Lokala Naturvårdssatsningen (LONA). Från Geranmayeh m.fl. under revision.

	LBP/CAP	LOVA	LONA
Ansvarig myndighet	Jordbruksverket	Havs- och vattenmyndigheten	Naturvårdsverket
Tillgängligt för	Alla markägare	Kommuner och icke vinstdrivande föreningar	Kommuner
Våtmarkssyfte	Näringsrening och biologisk mångfald (bevattnings från 2023)	Vattenkvalitet	Biologisk mångfald/rekreation, flödesdämpning och grundvatten, klimat
Ersättning vid start	Nej	Ja, max 75 %	Ja, max 75 %
Ersättningsgrad	Max 100 %	Max 90 %	Max 90 %
Ersättning för	Faktiska kostnader	Faktiska kostnader	Faktiska kostnader

Detta är i sig ett av problemen som lyftes fram i intervjuerna med *Greppa Näringsens* våtmarksrådgivare, komplicerade och tidskrävande ansökningsprocesser (Geranmayeh m.fl. 2024). Dessutom var kriterierna otydliga och samma våtmarksprojekt kunde få olika bedömning i olika regioner. Det blev därför tydligt att det är viktigt att markägare får stöd med dessa ansökningar. Markägare behöver även hjälp av kommunen för att kunna ta del av andra våtmarksstöd, och exempelvis inte behöva stå för full finansiering inledningsvis (för att sedan få återbetalning).



Figur 30. Andel (%) våtmarker 2009–2020 som finansierats med Landsbygdsprogrammet (LBP), Lokala Vattenvårdsprojekt (LOVA) och Lokala Naturvårdssatsningen (LONA).

Resultaten från intervjuerna med Greppa Näringens våtmarksrådgivare lyfte fram följande utmaningar med våtmarksimplementeringen:

- Systemen för ekonomiskt stöd saknar kontinuitet. Att skapa stabila, långsiktiga finansieringssystem är nödvändigt för att säkerställa markägarnas förtroende.
- Administrativa processer är tidskrävande och alltför komplexa. Administrationen behöver förenklas med tydliga och likartade instruktioner oavsett region.
- Nya rådgivare, åtgärdssamordnare och handläggare på Länsstyrelsen måste alla utbildas om våtmarker.
- Det måste finnas ett ökat samarbete mellan myndigheter som förvaltar olika medel för våtmarksanläggning.
- Långsiktigt stöd inklusive uppföljningsbesök för att säkerställa våtmarkernas funktion och obligatoriska rådgivningsbesök för underhåll behövs.
- Att säkerställa finansiering för avrinningsområdesansvariga för att stödja jordbrukare/markägare skulle vara en katalysator för våtmarksimplementering och underlätta användningen av alla nationella bidrag, och därigenom öka holistiska multifunktionella perspektiv och motivation.

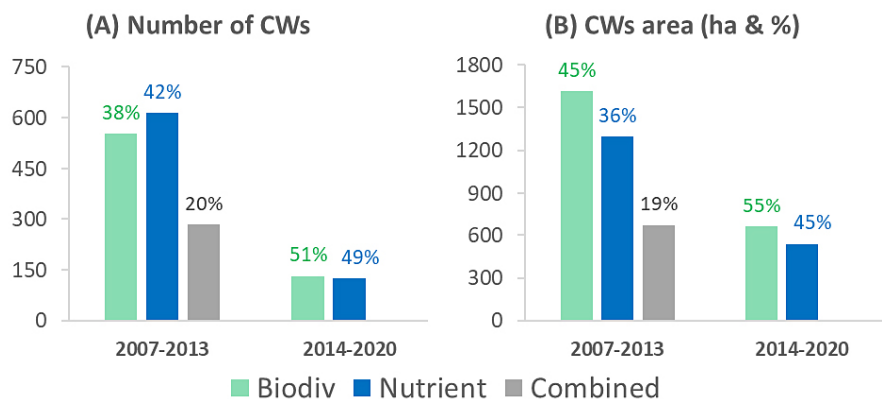
Även om rådgivningstjänster är relativt dyra verkar de vara effektiva när det gäller att stödja en bredare användning av våtmarker och bör därför bibehållas. Fler institutionella och praktiska utmaningar måste dock hanteras för att möjliggöra ett ökat utnyttjande av våtmarker på privat mark. Framför allt behövs mindre komplicerade administrativa processer och långsiktigt ekonomiskt och tekniskt stöd. Bättre samarbete mellan myndigheter som förvaltar olika bidrag, ökad utbildning och ökad medvetenhet för rådgivare och myndighetsutövare samt längre tid för rådgivningsbesöket och obligatoriska uppföljningsbesök med fokus på våtmarksskötsel bör förbättra resultaten.

Nyinrättade åtgärdssamordnare skulle kunna vara en katalysator för genomförandet, särskilt genom sin hjälp med att navigera i bidragssystemen och sin förmåga att använda alla tillgängliga medel, vilket främjar holistiska multifunktionella perspektiv som är i linje med markägarnas motivation. En sådan övergripande strategi kräver både institutionella förändringar och en övergång till ett mer långsiktigt tänkande om våtmarksprojekt, för att övervinna administrativ kortsiktighet som är vanligt i miljöbeslut.

3.8.5 Behov av långsiktiga finansieringssystem

Både intervjuerna och undersökningen av finansieringsmöjligheterna visade på vikten av långsiktig finansiering för frivilliga åtgärder som våtmarker (Geranmayeh m.fl. 2024; Geranmayeh m.fl. 2023). Markägarna behöver veta att de får ersättning för de kostnader som de själva finansierat. Rådgivare nämnde att hastigt stoppa våtmarksfinansieringen inom LBP 2013, innebar att många markägare förlorade förtroende och inte vågade investera i våtmarker, då de kan behöva ligga ute med mycket pengar i flera år ända tills anläggningen godkänts (Geranmayeh m.fl. under revision). Samtidigt visar jämförelse av LBP:s programperioder 2007–2013 med 2014–2020 att antalet våtmarker som anlagts har minskat med 85 % (Figur 31). Det kan vara flera orsaker till minskningen, som att vi anlagt många våtmarker och att det inte finns lika många enkla platser kvar, men också att markägarna inte

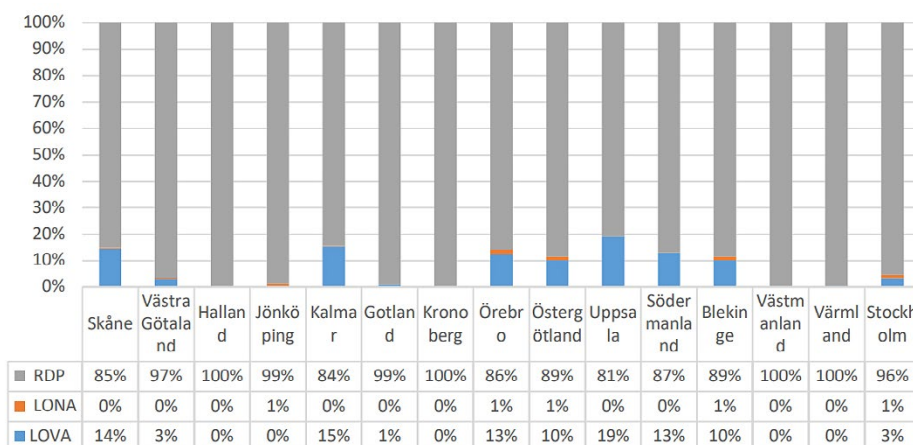
vågar ta risken att förlora sin investering. Om lantbrukarna skulle kunna få delar av ersättningen i början på projektet, precis som kommuner och intresseorganisationer kan för LONA och LOVA (75 % av förväntad kostnad), så kanske motiveringen att ta risken skulle öka.



Figur 31. Våtmarker som anlagts med finansiering från Landsbygdsprogrammet under programperioden 2007–2013 jämfört med 2014–2020 (Geranmayeh m.fl. 2023). A) antal våtmarker och B) total anläggningsyta (ha och %) för respektive våtmarkssyfte biologisk mångfald (grön), och näringsrening (blå) och kombinerat syfte (grå).

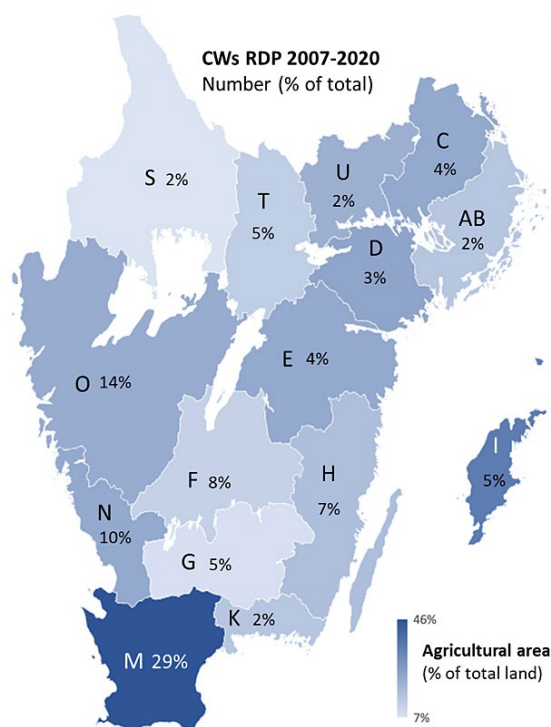
3.8.6 Behov att utjämna den regionala spridningen i våtmarksanläggning

Även om flest våtmarker anlagts genom stöd från LBP, så finns det några län där LOVA bidrag har använts för anläggning av mellan 10–20 % av våtmarkerna (Figur 32, Speks 2021). Det gäller Skåne, Kalmar, Örebro, Östergötland, Uppsala, Södermanland och Blekinge, under perioden 2009–2020.



Figur 32. Staplar visar andelen våtmark (%) som anlagts i respektive län med de olika finansieringsbidragen. Tabellen nedanför anger specifika % för LBP (RDP), LONA och LOVA (Speks 2021).

Av de våtmarker som anlagts med medel från LBP har de flesta anlagts i Skåne (29 %) och sedan på västkusten (10–14 %), medan länen runt Mälaren endast bidrar med några få procent (Figur 33). Både Mälardalen och Skåne är de områden där upp till 90 % av våtmarkerna historiskt har dränerats och det därför finns stort behov av att många skapas. Åtgärdssamordnare kan vara en lösning till att öka åtgärdstakten och förbrukningen av LOVA och LONA medel (Geranmayeh et al. 2024).



Figur 33. Regional fördelning av antal våtmarker (% av totala antalet) som anlagts med finansiering från LBP (i figuren RDP, rural development programme) under 2007–2020.

3.8.7 Arrendeproblematik

Markägandestatus lyftes upp som ett hinder för våtmarksimplementering av intervjuade våtmarksrådgivare. Drygt 40 % av Sveriges jordbruksmark är arrenderad, vilket gör det svårt för både arrendatorn och markägaren att göra långsiktiga investeringar som våtmarksanläggning (Geranmayeh m.fl. 2024). För att öka förståelsen av vilken juridisk rätt markägare har när det gäller anläggning av en våtmark på arrenderad mark undersökte WetKit-projektet (Josefsson 2023) förhållandet mellan arrende och investeringar i våtmarker och då särskilt om regleringen av arrende ger incitament eller inte för den här typen av subventionerad miljöåtgärd.

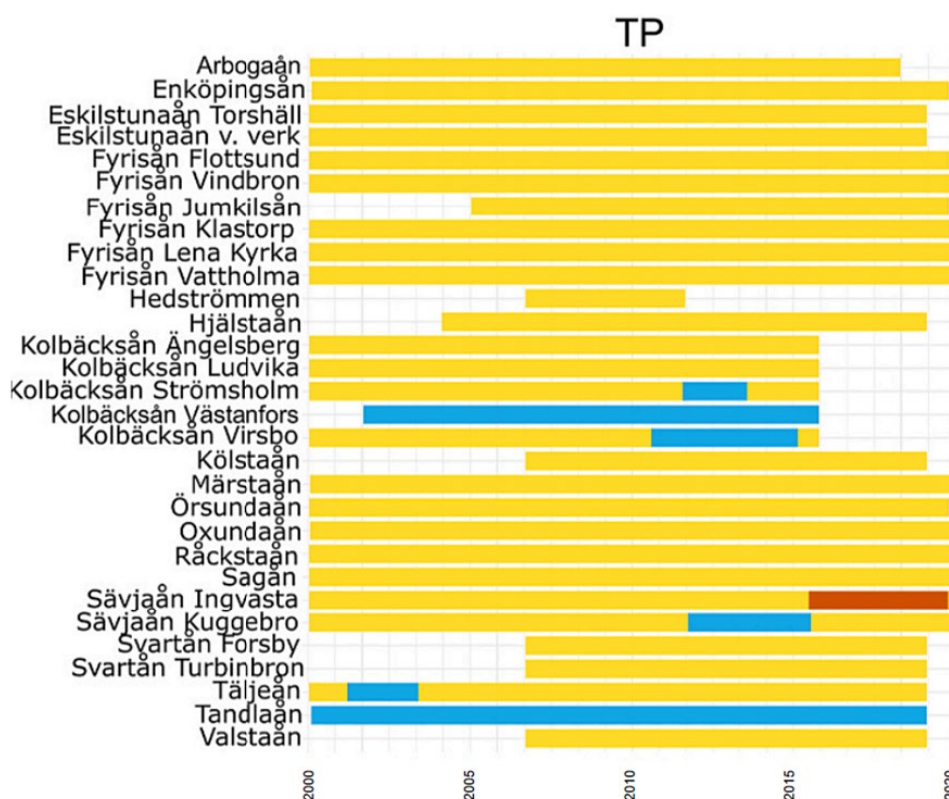
Resultatet visar att bestämmelserna om jordbruksarrende inte är särskilt väl anpassade för investeringar i miljövärden. Om marken är utarrenderad medför det begränsningar för en markägare som vill anlägga en våtmark eftersom våtmarken medför en händelse som kan leda till att arrendestället minskar eller försämras,

vilket arrendatorn då ska kompenseras för i och med att detta kan utgöra en stadigvarande försämring av områdets jordbrukskapacitet. Det ekonomiska stödet för att anlägga en våtmark är i huvudsak förknippat med de direkta kostnader som uppstår vid anläggandet och inte indirekta kostnader såsom sänkt arrendeintäkt eller den kostnad som uppstår då att arrendatorn vill omförhandla arrendeavgiften. Markägaren måste ta hänsyn till arrendatorn och hur det hänsynstagandet ska ske kan utgöra en komplicerande faktor som kan avskräcka en markägare från att ansöka om medel för att etablera en våtmark. Utifrån arrendatorns perspektiv förutsätter investeringar på utarrenderad mark att markägaren godkänner investeringen.

Vår studie visar att även frågan om biotopskyddet som inträder efter en våtmarksinvestering upplevs som ouppmärksam i de vägledning kring miljöersättning som studerats. Biotopskyddet för våtmarker som restaurerats med stöd av miljöersättningen kan utgöra ett skäl för en markägare att inte investera i våtmarker i och med att det inte är givet att en dispens för att ta bort våtmarken kommer ges. Problematiken är tydlig i rättspraxis och en utredning har föreslagit lättnader i biotopskyddet för anlagda och restaurerade våtmarker.

3.8.8 Ingen effekt på vattendragens vattenkvalitet

I en studie där 30 större vattendrag som mynnar i Mälaren undersökts avseende trender i vattenkemi under de senaste 20–25 åren kunde väldigt få trender ses (Figur 34, Sandström m.fl. 2024). I studien jämfördes eventuella trender (eller avsaknad på dessa) på avrinningsområdesnivå med statistik över genomförda åtgärder från VISS och SMHI:s våtmarksdatabas (utförda med syfte att minska diffusa utsläpp av näringsämnen). I många av de studerade avrinningsområdena (omkring Mälaren) fanns enligt SMHI:s våtmarksdatabas inga anlagda våtmarker (15/30 avrinningsområden), som mest 39, 36 respektive 35 anlagda våtmarker (Eskilstuna, Arbogaån och Täljeån). Detta tyder dels på behov av bättre samordning kring rapportering av genomförda åtgärdsprojekt, men skulle också kunna innebära att i vissa avrinningsområden saknas helt implementering av våtmarker. Avsaknaden av trender för fosfor förklaras delvis med internbelastning från våra sjöar och vattendrag (Lannergård m.fl. 2020), att många års data behövs för att detektera trender men även att alltför få åtgärder genomförs eller placeras på platser i landskapet där de inte får avsedd effekt (Sandström m.fl. 2024; Djodjic et al. 2022) eller är för små i förhållande till hur mycket vatten de mottar (Djodjic et al. 2022).



Figur 34. Trender i 30 vattendrag som mynnar i Mälaren, analysen utfördes med GAM (general additive models, von Brömssen m.fl. 2021) gult indikerar avsaknad av trend, rött ökande och blått minskande trend. Trenden kan pågå under en viss tid (del av stapel), eller hela tiden (hel stapel).

3.9 Kommunikation

3.9.1 Workshop för åtgärdssamordnare och handläggare

På workshopen “Hur vi skapar ett multifunktionellt våtmarkslandskap” i Uppsala deltog 58 personer, dessa representerade Naturvårdsverket, Statens Fastighetsverk, Hushållningssällskapet, WWF, olika konsultfirmor, vattenråd/vattenvårdsförbund, och följande kommuner: Enköping, Västerås, Hallstahammar, Eskilstuna, Tierp, Östhammar, Sigtuna och Strängnäs. På motsvarande workshop i Halmstad deltog 45 personer, dessa representerade Naturvårdsverket, Jordbruksverket, Sydvatten, Hushållningssällskapet, åtgärdssamordnare, Tullstorpsprojektet, olika vattenråd och Kristianstads vattenrike, Falkenberg, Helsingborg, Kristianstad, Olofströms, Ängelholms kommun, Länsstyrelsen i Skåne, Västra Götaland, Östergötland, Jönköping och Bleking (Figur 35).



Figur 35. Gruppbild på deltagarna på workshopen “Hur skapar vi multifunktionella våtmarkslandskap” som vi anordnade 13 oktober i Uppsala (övre) och 8 december i Halmstad (nedre).

Deltagande var nöjda med kunskapsutbytet, men några var även överväldigande över komplexiteten i “att göra rätt”. Från gruppdiskussionerna på workshopen i Halmstad framkom att vissa län har nytta av bedömningskriterier, medan andra län behöver få in fler våtmarksprojekt. Det framkom även att det behövs “tydliga riktlinjer, en gemensam checklista för vad som ska finnas med och vilka våtmarksprojekt som uppfyller kriterierna, och att det ska vara lika oavsett län”. Idag är det upp till den enskilda handläggaren att bedöma om ansökan är ett ”bra projekt”. Bedömningskriterierna i strategiska planen (CAP) 2023 används av handläggarna och som ett stöd för rådgivning. Detta fungerar bra till viss del, men leder även till missuppfattningar.

Som en uppföljning av detta har vi inom Wetkit-projektet initierat framtagande av ett gemensamt projektöverskridande (Våtmarkers ekosystemtjänster, Naturvårdsverket) dokument tillsammans med medverkande presentatörer på workshopen. Dokumentet ska vara en svensk lättläst och övergripande sammanfattning, motsvarande rådgivningsmanual, med råd baserat på forskningsläget och samtidigt identifiera vad vi behöver studera mer (Geranmayeh m.fl. under förberedelse). Denna rapport kommer finnas tillgänglig på SLU:s våtmarkshemsida.

Från workshopen i Halland framgick att finansieringssystemet LOVA användes flitigt då det ansågs enklare och flera uttryckte att LOVA-finansieringen borde utökas.

Projektet har genomfört ytterligare kommunikationsinsatser, dessa redovisas i Tabell 3.

Tabell 3. Kommunikationsinsatser inom Wetkit.

Kommunikationsinsats	Beskrivning
Nationella/internationella workshops och konferenser	Våtmarkskonferens SU okt 2021 Våtmarksworkshop Tovetorp fältstation okt 2021 Mälardagarna nov 2022 (Djodjic m.fl. 2022) Våtmarksworkshop Vindeln, SLU Umeå maj 2023 <i>Muntlig presentation på internationella konferenser</i> Våtmarkskonferensen WETPOL 2021 (Geranmayeh m.fl. 2021) Landuse and Water Quality Conference 2022 (Djodjic m.fl. 2022 & Geranmayeh m.fl. 2023) Catchment Science nov 2023 (Collentine) Land4Flood i Tyskland okt 2023 (Collentine) OPTAIN möte sep 2023 (Collentine)
Webbinarium	NV webinarium (Peacock m.fl. under förberedelse); Geranmayeh (under förberedelse); Djodjic et al 2022) JV Greppa Näringen maj 2023
Undervisning	JV Våtmarkskurs för Greppa Näringen rådgivare, Kristianstad 2022 "Träffa en Östersjöforskare" på Skansens Baltic Sea Science Center för gymnasieelever 22 mars 2023 Land use and watershed management (masterkurs på SLU) Vattenresursteknik (civilingenjörer SLU/UU) Models for sustainable water management (masterkurs på SLU)
Policy briefs	Wetlandscapes (Hambäck m.fl. 2022) Metan kontra multifunktionalitet (Futter m.fl. 2023)
Hemsida	https://www.slu.se/vatten-miljo/vatmarker
SLU Nyheter	Olika våtmarker, olika förutsättningar Externwebben (slu.se) Placering och storlek avgör våtmarkens kostnadseffektivitet Externwebben (slu.se)

4. Diskussion

På 1800-talet och i början av 1900-talet dikades många våtmarker i svenska jordbruksområden ut för att skapa mer mark för livsmedelsproduktion. Att byta vattenlagring mot livsmedelsproduktion var historiskt sett viktigt, men det innebär också att viktiga ekosystemfunktioner gick förlorade. Dräneringen var särskilt intensiv i Mälardalen och Skåne, där upp till 90 % av de naturliga våtmarkerna dränerades. Som en följd av denna storskaliga landskapsförändring har många ekosystemtjänster relaterade till buffring av höglöden, näringsretention, kolinlagring och habitat för att främja biologisk mångfald gått förlorade. Idag försöker vi hantera denna situation genom att skapa nya våtmarker, underhålla befintliga våtmarker och restaurera våtmarker som tidigare dikats.

Arbetet i detta projekt har haft syftet att bygga upp och sprida den nya kunskap som behövs för att främja skapandet av effektiva våtmarker i det svenska jordbrukslandskapet. Projektet har bidragit med ny kunskap dels kring institutionella hinder och utmaningar för våtmarksskapande samt kunskap från empiriskt arbete för att ytterligare fördjupa kunskapsbasen kring våtmarkers multifunktionalitet. Informationen som tagits fram har kommunicerats genom workshops riktade till våtmarkskonsulter, åtgärdssamordnare och myndighetsutövare, samt en film utformad för att öka medvetenheten bland allmänheten om de många fördelarna med våtmarker i jordbrukslandskapet. Arbetet har utförts i nära samarbete med andra projekt inom Naturvårdsverkets satsning på "Våtmarkers ekosystemtjänster".

På nationell nivå är våtmarker centrala för miljömålet "Myllrande våtmarker" och bidrar till målen "Ett rikt odlingslandskap", "Ingen övergödning" och "Ett rikt växt- och djurliv". Internationellt har skapandet av våtmarker i jordbrukslandskapet lyfts fram som en del av Sveriges bidrag till att uppnå FN:s hållbarhetsmål (Regeringen 2021, s. 119).

4.1 Våtmarkens hydrologiska roll

Att skapa nya våtmarker, underhålla befintliga och återställa historiskt dränerade områden skulle kunna bidra till att "klimatsäkra" det svenska jordbrukslandskapet. Klimatförändringar leder till högre temperaturer och kan leda till ökad nederbörd. Hydrologiska extrema händelser som leder till översvämningar och torka blir också allt vanligare. Det finns en ökad medvetenhet om att hanteringen av översvämningar och torka bör betraktas som "två sidor av samma mynt" (t.ex. Brunner m.fl. 2021). Detta är troligen det bästa tillvägagångssättet för att hantera våtmarker i det svenska jordbrukslandskapet. Det extrema vädret 2023, där en torr vår följdes av översvämningar under sensommaren, stödjer den allmänna uppfattningen att både översvämningar och torka blir vanligare, och att naturbaserade lösningar som anlagda våtmarker bör utvärderas för sitt potentiella bidrag till att mildra effekterna av båda typerna av hydrologiska extremhändelser.

Olika våtmarker har olika hydrologiska funktioner. De flesta våtmarker kan mildra nederbördfattiga perioder och vissa kan buffra översvämningar. Att mildra torka är en prioritet i Kalmar, medan fokus i Halland ligger mer på flödesdämpning.

Våra observationer i Mälardalen och andra svenska studier (Åhlén m.fl. 2022) har visat att olika våtmarker uppvisar olika hydrologiska signaler under året beroende på var de är belägna. Vattennivåerna i vissa våtmarker minskar under sommaren medan det i andra våtmarker förblir relativt konstant. Åhlén m.fl. (2022) har tidigare belyst betydelsen av våtmarkens position i avrinningsområdet, men en preliminär analys av vattennivådatan som insamlats i detta projekt tyder på att även andra processer (ex. relaterade till grundvattenkontakt) också påverkar vattennivåvariationer i våtmarkerna.

Vid analys av förmåga att lagra och fördröja vatten i landskapet behöver även de omgivande kantzoner inkluderas vid bedömningen av potentialen att mildra hydrologiska extremer. De flesta (om inte alla) våtmarker omges av strandzoner som är torra under större delen av året. Vi observerade dock att dessa områden översvämmades under tidig vår och under den nederbördsrika sensommaren 2023 och erbjöd en kortsiktig vattenlagring. Frågan om våtmarker kan skydda omgivande mark mot effekter av extremväder behöver utredas ytterligare. Våra studier tyder på att det under specifika förhållanden (ej helt torr eller helt mättad mark) kan erbjuda en viss fördröjning av vattnet i landskapet.

4.2 Multifunktionalitet

Specifika våtmarker kan inte uppfylla alla ekosystemtjänster samtidigt, optimering för näringsretention kan vara sämre utifrån produktion av metan. Våtmarker som gynnar fisk och kräftdjur eller betande djur (vars trampskador skapar erosion) kan vara negativt för näringsretention då fosfor som lagrats i sedimenten virvlar upp och försämrar vattenkvaliteten. Andra syften kan istället positivt förstärka varandra, exempelvis våtmarker för kväveretention, kan även verka positivt för kolinlagring (Jessop m.fl. 2015) och flödesdämpning (Nilsson m.fl. under förberedelse).

Våra resultat har visat att det finns avvägningar att göra mellan näringsretention och produktion av växthusgaser (Peacock m.fl. under förberedelse). Effektiv näringsretention och höga näringskoncentrationer är kopplade till högre växthusgasutsläpp. Dels är utsläpp av lustgas positivt relaterade till kväve i ytvattenkoncentrationer. Peacock m.fl. (2021) och andra studier har visat att våtmarkens koldioxidkoncentrationer är positivt relaterade till kvävekoncentrationer medan metanutsläpp ökar med ökande fosfor (till exempel Åhlén m.fl. 2023). Våra studier visar också att metan som producerats i våtmarker till stor del avgår genom bubblor (ebullition) även på vintern, vilket tidigare ansågs vara försumbart. Som en följd av våra resultat har mikrober som producerar och konsumerar metan undersökts för att ytterligare förstå förutsättningarna för växthusgasproduktion (Peacock m.fl. under förberedelse). Ett viktigt resultat från dessa studier är en påvisad geografisk skillnad i mikrosammansättningen i våtmarkerna i Halland och Mälardalen. Biodiversitet handlar därmed inte bara om större arter (fåglar, groddjur etc.) utan är även betydelsefullt på mikrobiell nivå. Frågor kring hur biodiversiteten påverkar vattenkvalitet och vice versa är viktiga frågor att studera vidare. Förutom växthusgasutsläpp kan lagring av kol i sediment vara en viktig del av våtmarkens kolbalans. Att kvantifiera kolbalansen för en enskild våtmark är utmanande då lagrat kol och flöden behöver redovisas korrekt (Prairie m.fl. 2018), rumsliga och tidsmässiga variationer i koncentrationer av lösta gaser måste beaktas vid provtagning (Ray m.fl. 2023). Konsekvenserna av våtmarksskötsel för lagring av kol i sedimentet bör också studeras vidare.

En annan viktig slutsats gällande våtmarkers multifunktionalitet som framkommit från Nilsson m.fl. (under förberedelse) är att våtmarker kan hanteras både för buffring av högflöden och reduktion av kväve. Detta understryker möjligheten att leverera både näringsretention och hydrologiska ekosystemtjänster från samma våtmark. Å andra sidan visade Åhlén m.fl. (2023) ett mer komplext samband mellan fosforkoncentrationer, växthusgasproduktion och biologisk mångfald. Ökade fosforkoncentrationer (och potentiellt bättre fosforretention) korrelerade med högre klorofyll *a* koncentrationer, vilket i sin tur var indirekt relaterat till hur snabbt fjädermyggor fortplantar sig, men också hur många olika arter som återfanns. Flera indikatorer på biologisk mångfald (fortplantningshastighet, taxonomisk och funktionell mångfald) var positivt relaterade till metankoncentrationer i vattnet och negativt till lustgaskoncentrationer.

Beslut som fattas gällande våtmarkens utformning kan bidra till att stödja multifunktionaliteten i enskilda våtmarker (t.ex. bättre biologisk mångfald i våtmarker för näringsretention och vice versa). Medan det finns olika utformningar för näringsretention jämfört med våtmarker för biologisk mångfald (varierande för olika arter/artgrupper), och ytterligare skillnader relaterade till om reduktion av kväve eller fosfor är det primära syftet, kan utformningen modifieras eller anpassas för att leverera flera tjänster. Till exempel kan hänsyn till strandlutningar i våtmarker utformade främst för näringsretention eller flödesdämning skapa ett varierat habitat som gynnar fler arter. En förmåga att reglera vattennivån kan också hjälpa till med att mildra höga vattenflöden i landskapet.

Förutom att utformningen ska gynna multifunktionen i enskilda våtmarker, visar våra resultat på att det finns risker för oönskade utsläpp som måste tas hänsyn till vid projektering och val av anläggningssätt. Att dämna mark är betydligt billigare än att gräva bort matjorden, vilket vi kan se skillnaden i anläggningsskostnad mellan våtmarker för biologisk mångfald jämfört för näringsrening (Geranmayeh m.fl. 2023). Innehåller matjorden mycket fosfor och järn finns det dock risk att våtmarken blir en fosforkälla under flera år efter restaureringen om matjorden inte grävs bort (Audet m.fl. 2020). Ett liknande krav på fosforriskbedömning som finns i Danmark, borde även inrättas i Sverige.

4.3 Hinder för skapande av våtmarker

Det finns ett antal institutionella hinder för implementering av våtmarker. I Sverige är anläggning av våtmarker en frivillig åtgärd som är beroende av markägarens intresse och möjligheten till finansiering. Ett betydande hinder är relaterat till jordbruksarrende. I stora delar av Sverige arrenderas jordbruksmark. En juridisk person äger marken och en annan förvaltar den för livsmedelsproduktion eller annat. Den här typen av arrangemang förhindrar effektivt implementering av våtmarker på arrenderad mark (Josefsson 2023). Vidare har vårt projekt utvärderat de tre huvudsakliga finansieringssystem som finns för att stödja våtmarksanläggning i Sverige (Geranmayeh m.fl. 2023, Geranmayeh m.fl. 2024). Det system som är tillgängligt för alla markägare har kritiserats för att vara alltför komplicerat, systemet är förknippat med lågt förtroende hos markägare till följd av historiska förändringar i statliga finansieringsprioriteringar, vilket kan vara en anledning till minskad anläggning de senaste åren (Geranmayeh m.fl. 2023). För enskilda markägare är tillräcklig ersättning oftast avgörande för att implementera en våtmark.

Förutom institutionella hinder kan finansiärer och markägare ha olika prioriteringar när det gäller våtmarkens syfte. Finansieringssystemet LBP som använts i störst utsträckning stödjer skapandet av våtmarker för näringsretention, för främjande av biologisk mångfald och nu även för bevattning. De som ansöker om medel för att skapa våtmarker är ofta mer intresserade av andra ekosystemtjänster, som rekreation eller av att skapa en vacker vattenspegel (Geranmayeh m.fl. 2024). Detta leder till att våtmarkens funktionalitet inte uppfyller förväntningarna och inte heller regionala mål. Detta styrks av vårt resultat som visar att vissa regioner satte höga mål för näringsretention men misslyckades med att nå dem på grund av otillräckligt markägarintresse och förmågan att omfördela medel (dvs. medel avsatta för näringsretention kunde omfördelas till biologisk mångfald vid högt söktryck och vice versa).

I vårt projekt visade Djodjic m.fl. (2022) att många av de befintliga våtmarkerna (med okänt syfte) inte var optimalt placerade i landskapet för hög näringsrening. Våtmarkerna hade antingen fel storlek (för små eller för stora i förhållande till avrinningsområdet uppströms och en optimal hydraulisk belastning på 100 m per år) för optimal näringsretention, eller låg i områden med relativt låga koncentrationer av näringsämnen. Dessa två faktorer innebar att näringsretentionen var mindre effektiv och mer kostsam baserat på de pengar som spenderades på skapandet av våtmarkerna. Felplacerade våtmarker kan också vara en bidragande faktor till resultaten som presenterades i Sandström m.fl. (2024), där det visades att inga minskande trender av näringskoncentrationer kan ses i vattendragen kring Mälaren trots de åtgärder som implementeras. Det ska dock noteras att tidigare studier i våtmarksimplementering med stöd från LBP (Speks 2021) bekräftat att betydligt färre våtmarker anlagts i länen runt Mälaren jämfört med i södra Sverige.

Trots att projektet främst fokuserade på våtmarksanläggning blev det allt tydligare under projektets gång att våtmarksskötsel är ett viktigt men underskattat ämne. När våtmarker åldras kan de förlora sin förmåga att behålla vatten och näringsämnen. Att förstå hur, och framför allt när, våtmarker bör underhållas är viktiga steg som behövs för att säkerställa ett mer motståndskraftigt jordbrukslandskap. Utöver en begränsad kunskapsbas för när och hur man ska underhålla våtmarker finns det begränsade finansieringsinstrument för att stödja våtmarksskötsel.

4.4 Ett nytt ramverk för bedömning av ekosystemtjänster

Centralt för bättre utformning av riktlinjer och anläggande av våtmarker behövs en bättre förståelse av synergier och avvägningar mellan olika syften (Hambäck m.fl. 2022). Centralt är också skalan för utvärdering, då stora effekter av åtgärder (som våtmarker) uteblir vid utvärdering av exempelvis vattenkvalitet i svenska vattendrag (Sandström m.fl. 2023). Storskalig utvärdering av ett så kallat "våtmarkslandskap", där flera olika våtmarkstyper med olika syften utvärderas tillsammans behöver bli vanligare för att utveckla planering, underhåll och utformning samt regelverk i framtiden (Thorslund m.fl. 2017).

Studier ledda av andra våtmarksprojekt i Naturvårdsverkets finansieringssatsning "Våtmarkers ekosystemtjänster", exempelvis Nilsson m.fl. (under förberedelse) och Åhlén m.fl. (2023), belyser utmaningarna med att hantera och mäta multifunktionalitet i enskilda våtmarker. Djodjic m.fl. (2022) och Geranmayeh m.fl. (2024) visar konsekvenserna för våtmarkens funktionalitet när olika aktörer prioriterar olika

syften med dem. Svårigheterna med att skapa, upprätthålla och mäta våtmarkens multifunktionalitet tyder på att vi behöver ett nytt ramverk för att utvärdera leveransen av ekosystemtjänster, och att vi bör betrakta multifunktionalitet både på landskapsnivå (dvs. "våtmarkslandskap", Hambäck m.fl. 2022) och för enskilda våtmarker. Genom att ta ett mer holistiskt, landskapsperspektiv bör det vara möjligt att skapa de våtmarker människor önskar (syfte och plats) och samtidigt leverera de hydrologiska, vattenkvalitets- och klimattjänster som förväntas av samhället. Att ha ett "våtmarkslandskaps-perspektiv" underlättar möjligheten att anlägga rätt våtmark på rätt plats och kan underlätta diskussioner om avvägningar som behöver göras mellan för- och nackdelar. Istället för att bara gräva gropar var som helst (t.ex. försöka skapa en näringsretentionsvåtmark i ett avrinningsområde med en låg andel åkermark), stödjer ett "våtmarkslandskapsperspektiv" att sikta på ett syfte som är förenligt med våtmarkens plats.

Genom att använda verktyg utvecklade av Djodjic m.fl. (2020, 2022) är det möjligt att avgöra om det finns hög potential för näringsretention på en möjlig plats för anläggning av en våtmark. Att veta om det finns hög potential för näringsretention kan sedan vägleda efterföljande beslut om våtmarksdesign, finansiering och genomförande. Om platsen inte är lämplig för näringsretention kan en våtmark utformas för att ge större biologisk mångfaldsnytta (för ett specifik art/artgrupp), och dess skapande finansieras genom system som fokuserar på förbättring av biologisk mångfald. Om platsen har hög potential för näringsretention kan en våtmark dimensioneras lämpligt för en optimal hydraulisk belastning, och finansieras genom system som fokuserar på näringsretention.

Ett av huvudresultaten i vårt projekt är att det finns avvägningar i leveransen av ekosystemtjänster, särskilt när det gäller näringsretention och växthusgasproduktion. Bättre näringsretention korrelerar med större klimatpåverkan. Nästan alla våtmarker kan vara "hot spots" för utsläpp av de tre huvudsakliga växthusgaserna (koldioxid, metan och lustgas). Om våtmarker inte fanns skulle koldioxid och lustgas troligen släppas ut någon annanstans i landskapet. Till exempel släpps koldioxid ut från mark i avrinningsområdena och lustgas kan produceras i alla vattenvägar – från källflöden till Östersjön.

Ur ett landskapsperspektiv bör utsläppen av dessa två växthusgaser inte betraktas som en allvarlig nackdel för näringsretention eller andra ekosystemtjänster från våtmarker. Däremot är våtmarker "hot spots" för metanutsläpp. Därför har vi försökt förstå de geokemiska och mikrobiologiska faktorerna som styr metanutsläppen. Skillnaden i mikrobiell samhällsstruktur mellan våtmarker i Mälardalen och Halland (Peacock m.fl. under förberedelse) belyser att våtmarker och deras ekosystem inte bara är en del av ett våtmarkslandskap utan att våtmarkslandskapen har en ytterligare regional kontext.

I vårt projekt studerade vi våtmarker i två regioner i Sverige: Mälardalen och Halland. Båda regionerna är viktiga jordbruksområden men har stora skillnader i mark, klimat och överskott av kväve respektive fosfor. Mälardalen domineras av lerjordar medan sandiga jordar är vanligare i Halland. Skillnaderna i marktyp kommer sannolikt att leda till skillnader i våtmarkens hydrologiska funktion och förmåga att buffra höglöden. Historiskt sett har torka inte varit ett problem i Mälardalen, men på senare år har både översvämningar och torka blivit allt vanligare. Halland har problem med flödesdämpning medan Kalmar i sydöst har större problem med torka. Generellt är fosforförlusterna större från lerjordar medan kväve läcker mer från sandjordar.

Att ha rätt våtmark på rätt plats kräver noggrann hänsyn till regionala jordar, väder och samhällets prioriteringar. En bedömning behövs av den enskilda våtmarkens roll i sammansättningen av våtmarker i "våtmarkslandskapet" och en design som prioriterar funktionalitet som är lämplig för våtmarkens plats men också tar hänsyn till för- och nackdelar. Att uppnå alla dessa mål förenklas avsevärt när de lämpliga institutionella strukturerna och rätt kompetens finns hos beslutsfattare.

Finansierings- och godkännandeprocesser bör harmoniseras på nationell nivå, men det finns regionala skillnader i genomförandet. Att göra processen för våtmarksskapande mer transparent och konsekvent över hela Sverige skulle vara fördelaktigt. Betydande steg har tagits för att anställa åtgärdssamordnare på kommunal nivå, vilket visat sig vara mycket effektivt. Det behöver dock finnas garantier för långsiktigt ekonomiskt stöd så att dessa personer kan bygga de nödvändiga långsiktiga relationerna med markägare och andra myndighetspersoner som behövs för att främja och stödja våtmarker i det svenska jordbrukslandskapet.

En av de huvudsakliga slutsatserna från detta projekt, som framkom i filmen, i samarbete med andra projekt, i diskussioner med markägare, myndighetsutövare och "*Greppa Näringen*"-rådgivare, är att våtmarker handlar om människor. Engagerade och motiverade individer är en nyckelkomponent i våtmarkslandskapet. Att erkänna och stödja dessa människors ansträngningar är ett viktigt steg för att uppnå samhällets mål från de globala hållbarhetsmålen (SDGs) till miljömålen, regionala och kommunala prioriteringar samt enskilda markägares önskemål om våtmarker på deras mark.

5. Slutsatser och förslag

Våtmarkshydrologi

- a. Våtmarkens förmåga att dämpa höga flöden beror på platsen i landskapet.
- b. Våtmarker längre ner i avrinningsområdet och/eller med god anslutning till grundvatten kan mildra de lokala effekterna av torka.
- c. Våtmarker högre upp i avrinningsområdet och/eller med begränsad anslutning till grundvatten kan mildra lokala högflöden.
- d. Händelser med kraftig nederbörd/stora nederbördsmängder (under kort tid) kommer sannolikt att skapa stora problem i form av översvämningar i framtiden. Förberedelser behöver även öka för perioder av torka under sommaren. Både översvämningar och torka ökar behovet av buffertkapacitet i landskapet.

Näringsretention

- a. Våtmarker måste vara rätt placerade i landskapet och ha rätt storlek (dvs. hög näringsbelastning, ”lagom” hydraulisk belastning) för att uppnå hög näringsretention.
- b. De flesta befintliga våtmarker är inte optimalt belägna för näringsretention.
- c. Kontinuerligt underhåll krävs för att säkerställa långsiktig effektivitet av näringsretention. Hur ofta och i vilken grad våtmarkerna ska skötas för optimal effekt behöver studeras ytterligare.
- d. Det finns avvägningar mellan näringsretention och andra ekosystemtjänster, särskilt kopplade till avgång av växthusgaser.

Växthusgaser och klimatpåverkan

- a. Näringsrika våtmarker med högre retentionspotential har ofta högre utsläpp av växthusgaser.
- b. Medan alla våtmarker kan lagra kol i sina sediment är de flesta våtmarker nettoutsläppskällor av växthusgaser.
- c. Ur ett landskapsperspektiv kan utsläppen av koldioxid och lustgas från våtmarker vara obetydliga.
- d. Många våtmarker är ”hot spots” för metanproduktion. Omfattningen och vad som kontrollerar dessa utsläpp behöver studeras vidare.

Biodiversitet

- a. Alla våtmarker kan främja vissa arter, men då andra kan motverkas behövs det en specialisering vilka arter som avses gynnas i den specifika våtmarken och flera våtmarkstyper för att öka den biologiska mångfalden i våtmarkslandskap.
- b. Fokus för biodiversitetsstudier bör utökas och inkludera både mikrober och organismgrupper av allmänt intresse.
- c. Förhållandet mellan vattenkvalitet (inklusive näringsämnen och växthusgaser) och biodiversitet behöver studeras ytterligare.
- d. Vikten av våtmarker som en källa till dricksvatten för djur kommer sannolikt att öka i framtiden på grund av ökad frekvens och intensitet av torka.

Multifunktionalitet

- a. Att sträva efter multifunktionalitet på specifik våtmarksnivå är en balansakt där risken är att ingen av våtmarkens nyttor optimeras.
- b. Enskilda våtmarker bör utformas för att prioritera en enda funktion (t.ex. fosforretention) samtidigt som andra funktioner (t.ex. biologisk mångfald) kan tillgodoses utan att kompromissa med den primära funktionen.
- c. Bedömningar av multifunktionalitet bör göras på en större geografisk skala, förslagsvis som ett "våtmarkslandskap".
- d. Platsval och primära syften för skapandet av nya våtmarker bör baseras på lokala förutsättningar och ett "våtmarkslandskaps"-perspektiv.

Finansiella system för våtmarksstöd

- a. Markägarnas intresse är avgörande eftersom skapandet av våtmarker är en frivillig åtgärd som är beroende av statligt ekonomiskt stöd, i rätt omfattning och i rätt tid.
- b. Kontinuitet i finansieringssystemen kommer att bidra till att bygga förtroende hos markägarna.
- c. Då det kan vara svårare att hitta effektiva platser (hög näringsbelastning) för näringsretention på grund av markvärdet och konkurrens om matproduktion, behövs öronmärkt budget för näringsvåtmarker.
- d. Ekonomiskt stöd behövs också för våtmarksunderhåll och för uppföljning av våtmarkens funktion över tid (flera år). En andel av våtmarksstöden (LBP, LOVA, LONA) bör avsättas för att upprätthålla ett nationellt uppföljningsprogram (samtliga ekosystemtjänster, samtliga våtmarkstyper). Detta skulle ge förutsättningar för effekt- och miljömålsuppföljning.

Workshops och kommunikation

- a. En sammanfattande manual med praktiska råd om placering, utformning, tillgängliga verktyg och eventuella avvägningar för olika våtmarkstyper och vad som behövs/krävs för optimering efterfrågades så det blir lika oavsett län, projekterare eller handläggare.
- b. Riskbedömningar och generella kriterier behöver tas fram.
- c. Ett nätverk för intressenter som arbetar med våtmarker, med kontinuerlig kontakt med kompetenshöjande aktiviteter identifierades som en åtgärd för förbättrat och kvalitetssäkrat arbete.
- d. Forskning i frågan behöver fortsätta kommuniceras och göras relevant genom att översättas till tillämpade råd.

6. Tack

Projektet vill tacka alla markägare som tillåtit oss att ta prover i deras våtmarker och alla våtmarksrådgivare som ställde upp på intervjun. Vi vill även tacka Roger Valdén, Oskar Norlin-Agstam och Anna Ferguson för arbetet på labb. Ett stort tack riktas också till de andra NV-projekten som vi samarbetat med, speciellt John Strand, Antonia Liess och Peter Hambäck som vi fick möjlighet att dela våtmarker med och därmed utöka kunskapen om dessa våtmarker multifunktion. Tack till alla deltagare på workshoparna som vi anordnade och presentatörerna Karin Eklöf, Marcus Wallin, Mats Nilsson och Ineta Kačergytė på SLU, Jerker Jarlsjö och David Åhlén på SU samt paneldeltagarna Mats Johansson WWF, Frida Hermanson WRS och Johan Axné Enköpings kommun. Vi vill även tacka våra exjobbare Johanna Kero, Gordon Lindau, Christian Lundström, Clara Laguna Marin, Amanda Speks, Malin Wennerholm, Klara-Li Yngve samt Maria Carlson och Maidul Choudhury för fältarbetet.

7. Källhänvisning

- Audet, J., Zak, D., Bidstrup, J., Hoffmann, C.C., 2020. Nitrogen and phosphorus retention in Danish restored wetlands. *Ambio* 49, 324–336.
- Beaulieu, J. J., DelSontro, T., & Downing, J. A. (2019). Eutrophication will increase methane emissions from lakes and impoundments during the 21st century. *Nature communications*, 10(1), 1375.
- Brandt, M., Arheimer, B., Gustavsson, H., Pers, C., Rosberg, J., Sundström, M. & Thorén, A.K. (2009). Uppföljning av effekten av anlagda våtmarker i jordbrukslandskapet på belastning av kväve och fosfor. Naturvårdsverket Rapport 6309, Stockholm, Sweden.
- Brunner, M. I., Slater, L., Tallaksen, L. M., & Clark, M. (2021). Challenges in modeling and predicting floods and droughts: A review. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 8(3), e1520.
- Bullock, A., & Acreman, M. (2003). The role of wetlands in the hydrological cycle. *Hydrology and Earth System Sciences*, 7(3), 358–389.
- Deutscher, J., Kupec, P., Kučera, A., Urban, J., Ledesma, J. L., & Futter, M. (2019). Ecohydrological consequences of tree removal in an urban park evaluated using open data, free software and a minimalist measuring campaign. *Science of the Total Environment*, 655, 1495–1504.
- Djordjic, F., Geranmayeh, P., & Markensten, H. (2020). Optimizing placement of constructed wetlands at landscape scale in order to reduce phosphorus losses. *Ambio*, 49, 1797–1807.
- Doerr, S. H., Shakesby, R. A., & Walsh, R. (2000). Soil water repellency: its causes, characteristics and hydro-geomorphological significance. *Earth-Science Reviews*, 51(1-4), 33–65.
- Ejhed, H., Widén-Nilsson, E., Tengdelius Brunell, J., & Hytteborn, J. (2016). Näringsbelastningen på Östersjön och Västerhavet 2014: Sveriges underlag till Helcoms sjätte Pollution Load Compilation.
- Franzén, F., Hammer, M., & Balfors, B. (2015). Institutional development for stakeholder participation in local water management—An analysis of two Swedish catchments. *Land use policy*, 43, 217–227.
- Franzén, F., Dinnézt, P., & Hammer, M. (2016). Factors affecting farmers' willingness to participate in eutrophication mitigation—A case study of preferences for wetland creation in Sweden. *Ecological Economics*, 130, 8–15.
- Futter, M. N., Erlandsson, M. A., Butterfield, D., Whitehead, P. G., Oni, S. K., & Wade, A. J. (2014). PERSiST: a flexible rainfall-runoff modelling toolkit for use with the INCA family of models. *Hydrology and Earth System Sciences*, 18(2), 855–873.
- Ghermandi, A., Van Den Bergh, J. C., Brander, L. M., De Groot, H. L., & Nunes, P. A. (2010). Values of natural and human-made wetlands: A meta-analysis. *Water Resources Research*, 46(12).

- Graversgaard, M., Jacobsen, B. H., Hoffmann, C. C., Dalgaard, T., Odgaard, M. V., Kjaergaard, C., et al. (2021). Policies for wetlands implementation in Denmark and Sweden—historical lessons and emerging issues. *Land Use Policy* 101, 105206. doi:10.1016/j.landusepol.2020.105206
- IPCC (2013). 2013 Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands.
- Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Biavati, G., Horányi, A., Muñoz Sabater, J., Nicolas, J., Peubey, C., Radu, R., Rozum, I., Schepers, D., Simmons, A., Soci, C., Dee, D., Thépaut, J-N. (2023): ERA5 hourly data on single levels from 1940 to present. Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS), DOI: 10.24381/cds.adbb2d47 (Accessed on 08-May-2024)
- Janse, J. H., Van Dam, A. A., Hes, E. M., de Klein, J. J., Finlayson, C. M., Janssen, A. B., ... & Verhoeven, J. T. (2019). Towards a global model for wetlands ecosystem services. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 36, 11–19.
- Jaramillo, F., Desormeaux, A., Hedlund, J., Jawitz, J. W., Clerici, N., Piemontese, L., ... & Åhlén, I. (2019). Priorities and interactions of sustainable development goals (SDGs) with focus on wetlands. *Water*, 11(3), 619.
- Jessop, J., Spyreas, G., Pociask, G. E., Benson, T. J., Ward, M. P., Kent, A. D., & Matthews, J. W. (2015). Tradeoffs among ecosystem services in restored wetlands. *Biological Conservation*, 191, 341–348.
- Jian, J., Ryu, D., Costelloe, J. F., & Su, C. H. (2017). Towards hydrological model calibration using river level measurements. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 10, 95–109.
- Kačergytė, I., Arlt, D., Berg, Å., Žmihorski, M., Knape, J., Rosin, Z.M., et al., 2021a. Evaluating created wetlands for bird diversity and reproductive success. *Biol. Conserv.* 257.
- Kačergytė, I., Petersson, E., Arlt, D., Hellström, M., Knape, J., Spens, J., et al., 2021b. Environmental DNA metabarcoding elucidates patterns of fish colonisation and co-occurrences with amphibians in temperate wetlands created for biodiversity. *Freshw. Biol.* 66, 1915–1929.
- Kadykalo, A. N., & Findlay, C. S. (2016). The flow regulation services of wetlands. *Ecosystem Services*, 20, 91–103.
- Land, M., Granéli, W., Grimvall, A., Hoffmann, C. C., Mitsch, W. J., Tonderski, K. S., & Verhoeven, J. T. (2016). How effective are created or restored freshwater wetlands for nitrogen and phosphorus removal? A systematic review. *Environmental Evidence*, 5(1), 1–26.
- Lannergård, E. E., Agstam-Norlin, O., Huser, B. J., Sandström, S., Rakovic, J., & Futter, M. N. (2020). New insights into legacy phosphorus from fractionation of streambed sediment. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 125(9), e2020JG005763.
- Ledesma, J. L., Ruiz-Pérez, G., Lupon, A., Poblador, S., Futter, M. N., Sabater, F., & Bernal, S. (2021). Future changes in the Dominant Source Layer of riparian lateral water fluxes in a subhumid Mediterranean catchment. *Journal of Hydrology*, 595, 126014.

Lindström, G., Pers, C., Rosberg, J., Strömqvist, J., & Arheimer, B. (2010). Development and testing of the HYPE (Hydrological Predictions for the Environment) water quality model for different spatial scales. *Hydrology research*, 41(3-4), 295–319.

Medici, C., Butturini, A., Bernal, S., Vázquez, E., Sabater, F., Vélez, J.I. and Francés, F., (2008): Modelling the non-linear hydrological behaviour of a small Mediterranean forested catchment. *Hydrological Processes: An International Journal*, 22(18), pp. 3814–3828.

Naturvårdsverket (2023) Anlagda eller hydrologiskt restaurerade våtmarker – Sveriges miljömål. [åtkomst 2023 Dec 11]. <https://www.sverigesmiljomal.se/miljomalen/myllrande-vatmarker/anlagda-eller-hydrologiskt-restaurerade-vatmarker/>

Peacock, M., Audet, J., Bastviken, D., Cook, S., Evans, C.D., Grinham, A., Holgerson, M.A., Högbom, L., Pickard, A.E., Zieliński, P. and Futter, M.N., 2021. Small artificial waterbodies are widespread and persistent emitters of methane and carbon dioxide. *Global Change Biology*, 27(20), pp. 5109–5123.

Prairie, Y.T., Alm, J., Beaulieu, J., Barros, N., Battin, T., Cole, J., Del Giorgio, P., DelSontro, T., Guérin, F., Harby, A. and Harrison, J., 2018. Greenhouse gas emissions from freshwater reservoirs: what does the atmosphere see? *Ecosystems*, 21, pp. 1058–1071.

Regeringen 2021. Report on the implementation of the 2030 Agenda for Sustainable Development. 143 pp.

Schäfer, M. L., Lundström, J. O., Pfeffer, M., Lundkvist, E., & Landin, J. (2004). Biological diversity versus risk for mosquito nuisance and disease transmission in constructed wetlands in southern Sweden. *Medical and Veterinary Entomology*, 18(3), 256–267.

Seifollahi-Aghmiuni, S., Nockrach, M., & Kalantari, Z. (2019). The potential of wetlands in achieving the sustainable development goals of the 2030 Agenda. *Water*, 11(3), 609.

Strand, J. A., & Weisner, S. E. (2013). Effects of wetland construction on nitrogen transport and species richness in the agricultural landscape—Experiences from Sweden. *Ecological Engineering*, 56, 14–25.

Thorslund, J., Jarsjö, J., Jaramillo, F., Jawitz, J. W., Manzoni, S., Basu, N. B., ... & Destouni, G. (2017). Wetlands as large-scale nature-based solutions: Status and challenges for research, engineering and management. *Ecological Engineering*, 108, 489–497.

TruTrack Home Page (2024) (Manufactures of Data Loggers and Weather Stations). [accessed 2024 May 8]. <https://www.trutrack.com/>

von Brömssen, C., Betner, S., Fölster, J., & Eklöf, K. (2021). A toolbox for visualizing trends in large-scale environmental data. *Environmental Modelling & Software*, 136, 104949.

Weisner, S., Johannesson, K., & Tonderski, K. (2015). Näringsavskiljning i anlagda våtmarker i jordbruket: Analys av mätresultat och effekter av landsbygdsprogrammet.

8. Publikationer och data

8.1 Vetenskapliga publikationer

Djodjic F., P. Geranmayeh, M. Futter, H. Markensten and **D. Collentine**. 2022. *Cost effectiveness of nutrient retention in constructed wetlands at a landscape level*. Journal of Environmental Management 324: 116325. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116325>

Geranmayeh P., M. Wennerholm, **M. Futter & M. Blicharska**. 2024. *Agri-environmental advisors' perspectives on barriers and opportunities for wetland creation – the view from Sweden*. Journal of Environmental Planning and Management 2332386. <https://doi.org/10.1080/09640568.2024.2332386>

Geranmayeh P., A. Speks, **M. Blicharska, M.N. Futter & D. Collentine**. 2023. *Regional targeting of purpose driven wetlands: success or failure?* Frontiers in Sustainable Resource Management, section Sustainable Land Use. Volume 2:2023. <http://doi.org/10.3389/fsrma.2023.1251291>

Geranmayeh P. (In Preperation) Phosphorus accumulation in agricultural wetlands.

Hambäck, P.A., L. Dawson, **P. Geranmayeh**, J. Jarsjö, I. Kačergytė, **M. Peacock**, **D. Collentine**, G. Destouni, **M. Futter**, S. Hedman, S. Jonsson, B.K. Klatt, A. Lindström, J.E. Nilsson, T. Pärt, L.D. Schneider, J.A. Strand, P. Urrutia Cordero, D. Åhlén, I. Åhlén and **M. Blicharska**. 2022. *Trade-offs and synergies in wetland multifunctionality: A scaling issue*. Science of the Total Environment 862:160746. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160746>

Nilsson J.E., **J. Audet**, P.M. Ehde, S.E.B. Weisner & A. Liess. In preparation. Multi-functional wetlands can efficiently remove nitrogen while reducing flood risk.

Peacock M., Audet J., Yngve, K-L, Carlsson M., Lundström C., Kero J., Choudhury M., Liu T., **Futter M. & Geranmayeh P.** In preparation. GHG dynamics in agricultural constructed wetlands.

Ray NE, MA. Holgerson, MR. Andersen, J. Bikse, LE. Bortolotti, **M. Futter**, I. Kokorite, A. Law, C. McDonald, JP. Mesman, **M. Peacock**, DC. Richardson, J. Arsenault, S. Bansal, K. Cawley, M. Kuhn, AR. Shahabinia & F. Smufer. 2023. *Spatial and temporal variability in summertime dissolved carbon dioxide and methane in temperate ponds and shallow lakes*. Limnology and Oceanography. 68:1530–1545. <https://doi.org/10.1002/lno.12362>

Sandström, S., **E.E. Lannergård, M.N. Futter, & F. Djodjic**. 2024. *Water quality in a large complex catchment: Significant effects of land use and soil type but limited ability to detect trends*. Journal of Environmental Management, 349, p.119500. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.119500>

Åhlén D., **M. Peacock**, Y. Brodin & P.A. Hambäck. 2023. *Wetland productivity determines trade-off between biodiversity support and greenhouse gas production*. Ecology and Evolution 13, e10619. <https://doi.org/10.1002/ece3.10619>

8.2 Examensarbeten

Kero J. 2022. Näringsretention i anlagda våtmarker. Självständigt arbete, Institutionen för vatten och miljö, SLU, Uppsala.

Laguna Marin C. 2023. Assessment of future climate and land use changes on streamflow and phosphorus transport in a Swedish agricultural catchment. Självständigt arbete, Institutionen för vatten och miljö, SLU, Uppsala.

Lindau G. 2021. Våtmarksbatymetri – djupmätning av 10 anlagda våtmarker i Mälardalen. Självständigt arbete, Institutionen för vatten och miljö, SLU, Uppsala.

Lundström C. 2021. Emission of greenhouse gases in constructed wetlands with relation to nutrient status. Självständigt arbete, Institutionen för vatten och miljö, SLU, Uppsala.

Speks A. 2021. Analyzing the impact of the financial systems for constructing wetlands in Sweden. Examensarbete i Hållbar utveckling. Department of Earth Sciences, Uppsala University.

Wennerholm M. 2021. The role of wetland advisors in the implementation of wetlands in Sweden. Examensarbete i Hållbar utveckling. Department of Earth Sciences, Uppsala University.

Yngve K-L. 2022. Effekter av vegetation och näringsstatus på mängden metanotrofer och metangasavgång från anlagda våtmarker. Självständigt arbete, Institutionen för vatten och miljö, SLU, Uppsala.

8.3 Övrig publicering

8.3.1 Rapporter

Geranmayeh P., F. Djodjic, K. Eklöf, P. Hambäck, A. Liess, ... J. Strand & D. Collentine. (under förberedelse). Hur skapar vi multifunktionella våtmarkslandskap – Rådgivningsmanual placering och utformning av våtmarkstyper. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för vatten och miljö. Rapport.

Josefsson H., D. Collentine (under förberedelse). Avtalsfrågor inom naturvården: Jordbruksarrende och våtmarksinvesteringar. Rapport. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för vatten och miljö.

8.3.2 Policy briefs

Futter M., Lannergård E., Geranmayeh, P. 2023 Metan vs. multifunktionalitet – ett faktablad om nyttor och avvägningar vid anläggning av dammar och våtmarker i jordbruksområden.

Hambäck m. fl. (under förberedelse) Återvätning och multifunktionella våtmarker – realitet eller utopi.

8.4 Medverkande

Joachim Audet, Forskare vid Aarhus Universitet Danmark.

Malgorzata Blicharska, Universitetslektor vid Institutionen för geovetenskaper, naturresurser och hållbar utveckling på Uppsala Universitet.

Dennis Collentine, Forskare vid Institutionen för vatten och miljö på SLU.

Faruk Djodjic, Forskare vid Institutionen för vatten och miljö på SLU.

Johan Heurgren, Heurgren Film AB.

Henrik Josefsson JD, Universitetslektor vid Företagsekonomiska institutionen på Uppsala Universitet.

Tong Liu, Postdok vid Institutionen för vatten och miljö på SLU.

Michael Peacock, Forskare vid Institutionen för vatten och miljö på SLU.

Rapporten uttrycker nödvändigtvis inte Naturvårdsverkets ställningstagande. Författaren svarar själv för innehållet och anges vid referens till rapporten.

Våtmarkers hydrologiska ekosystemtjänster och multifunktion

WetKit Hydro-ES: Wetland toolkit for hydrological ecosystem services

Våtmarker har alltid varit en del av det svenska jordbrukslandskapet. Men hur kan vi mäta nyttan av anlagda våtmarker i jordbrukslandskapet? Och hur ska vi anlägga dessa för att få ut så mycket nytta som möjligt?

Projektet kombinerar forskning inom naturvetenskap och samhällskunskap, och har haft som mål att bättre förstå och lyfta fram fördelar med våtmarker och hur åtgärdstakten kan ökas. För att underlätta för markägare, våtmarkskonsulter och myndigheterna att anlägga våtmarker har forskarna utvecklat en verktygslåda baserad på senaste modellerings-tekniker för att placera rätt våtmark på rätt plats och sammanställa praktiska råd för att uppnå ökad flödesdämpning, biologisk mångfald, kolinlagring och förmåga att rena näringsämnen.

Projektet har finansierats med medel från Naturvårdsverkets miljöforskningsanslag som finansierar forskning till stöd för Naturvårdsverkets och Havs- och vattenmyndighetens kunskapsbehov.