



Havs
och Vatten
myndigheten



Rätt åtgärd på rätt plats

Författare: Jens Fölster, Faruk Djodjic Karin Blombäck, Emma Lannergård och Katarina Kyllmar.

Delprojekt: C8 Beslutsstödsverktyg för att minska eutrofieringen

Slutrapport (Deliverable 55, Evaluation report on the decision support tools, evaluation of action, lessons learned and continuation after end of project, 2024-06-30)



Ansvaret för innehållet i denna rapport ligger helt hos författarna.
Innehållet återspeglar inte Europeiska unionens hållning.

Titel: Rätt åtgärd på rätt plats

Författare: Jens Fölster, Faruk Djodjic och Karin Blombäck, Emma Lannergård, Katarina Kyllmar

Omslagsbild: Exempel på åtgärdsbehov vid Krusenbergs Herrgård

Foto: Faruk Djodjic

Innehåll

Summary in English.....	2
1 Sammanfattning	3
1.1 Bakgrund	3
1.2 Resultat	7
1.3 Användningsområden för resultaten	8
2 Genomförande	9
2.1 Steg 1: Förberedelser	9
2.1.1 Hotspots och uppskattning av näringsförluster	9
2.1.2 Demonstrera och utveckla sensorbaserade mätningar	9
2.1.3 Pedagogisk användning av sensorer	10
2.1.4 Beslutsstödsverktyg	10
2.2 Steg 2: Genomförande	11
2.2.1 Hotspots och uppskattning av näringsförluster	11
2.2.2 Demonstrera och utveckla sensorbaserade mätningar för transportberäkningar	13
2.2.3 Uppskalning av sensordata med modeller	15
2.2.4 Pedagogisk användning av sensorer	16
2.2.5 Beslutsstödsverktyg	16
2.3 Budget och finansiering	17
3 Uppföljning och utvärdering	19
3.1 Uppföljning av effekter i miljön	19
3.2 Uppföljning av projektets bidrag till kapacitetsutveckling, socioekonomiska effekter och ekosystemtjänster	19
3.3 Dokumentation och dataförvaring	19
4 Resultat	21
4.1 Effekter i miljön	21
4.1.1 <i>Projektets bidrag till genomförandet Förvaltningsplanen för Norra Östersjöns vattendistrikt</i>	21
4.1.2 Klimateffekter	22
4.2 Effekter på ökad kunskap, kapacitet	23
4.2.1 Stimulera och inspirera till fler åtgärder	23
4.3 Effekter samverkan och nätverk	24
4.4 Socio-ekonomiska effekter	24
4.5 Ekosystemtjänster	24
4.6 Nyttor för partners	24
4.7 Ringar på vattnet	25
5 Kommunikation och resultatspridning	26
5.1 Kommunikationsstrategi	26
5.2 Kommunikationsaktiviteter	27
5.3 Resultat av kommunikationsaktiviteter	28
5.4 Lärdomar från kommunikationsarbetet	29
6 Fortsättning/After-LIFE	30
7 Referenser	31

Summary in English

The overall objective of action C8 is to create a decision support tool for optimizing localization and choice of measures at both local- and catchment level scale, in order to increase cost-effectiveness of the implementation of measures.

Nutrient leakage from agricultural land is one of the largest sources of eutrophication in surface water and much more difficult to remediate than what comes from point sources. One of the reasons for this is that a large part of the leakage occurs from small areas that can be difficult to identify and for short periods. It is usually called the 80-20 principle: 80 percent of the leakage comes from 20 percent of the agricultural area during 20 percent of the time. If you succeed in identifying these areas, you have a much greater opportunity to locate measures where they are most useful, and if you succeed in measuring at the episodes when most of the nutrient transport takes place in watercourses, you have a greater opportunity to make correct quantifications of the leak. This project aims to develop user-friendly tools that identify so-called hot-spots for nutrient leakage and to investigate the possibilities of using sensors out in the watercourses that measure continuously to monitor the effect of the measures.

In lakes and watercourses and to a large extent also in the Baltic Sea, it is mainly phosphorus that is the cause of eutrophication. This project therefore aims to produce a basis for measures to reduce phosphorus leakage. Phosphorus can leak either in loose form as phosphate, or bound to particles. It has previously been difficult to identify hotspots for both of these forms, but new research and new data have now made it possible to do so with much greater precision than before.

The risk of leakage of dissolved phosphorus is greatest from sandy soils and where the amount of readily available phosphorus is high. In this project, we develop a tool that calculates the risk of leakage from different soils with soil mapping data.

Analyzes of soil samples showed that an extended ordinary soil mapping where the iron and aluminum content is also analyzed can be used well to estimate easily soluble phosphorus.

Particular phosphorus leaks instead from clay soils where surface erosion can easily occur where the water collects after rain and when snow melts. Here we develop tools based on high resolution digital terrain maps to identify risk areas for erosion to guide the location of mitigation measures. The maps can also be used to optimize the location of dams and wetlands for nutrient retention.

The use of sensors in water quality monitoring will be evaluated to improve the follow up of measures against nutrient leakage from agricultural soils.

In the last phase of the project, we will develop training materials and checklists so that users can assess how and when to use the data and also when not to use it.

1 Sammanfattning

1.1 Bakgrund

Delprojektets namn: C8 Beslutsstödsverktyg för att minska eutrofieringen

Startdatum: 2017-01-01

Slutdatum: 2024-12-31

Parter: SLU

Näringsläckage från jordbruksmark är en av de största källorna till övergödning i ytvatten och betydligt svårare att åtgärda än det som kommer ut från punktkällor. En av orsakerna till det är att en stor del av läckaget sker från små områden som kan vara svåra att identifiera och under korta perioder. Man brukar kalla det för 80-20 principen: 80 procent av läckaget kommer från 20 procent av jordbruksarealen under 20 procent av tiden. Lyckas man identifiera dessa områden har man mycket större möjligheter att lokalisera åtgärder där de gör störst nytta och om man lyckas mäta vid de episoder då det mesta av näringstransporten sker i vattendrag har man större möjlighet att göra korrekta kvantifieringar av läckaget och därmed följa upp om åtgärderna har haft effekt. Det här projektet syftar till att ta fram användarvänliga verktyg som identifierar så kallade hot-spots för näringsläckage samt undersöka möjligheterna att använda sensorer ute i vattendragen som mäter högfrekvent för att följa upp åtgärdernas effekt.

I sjöar och vattendrag och till stor del även i Östersjön, är det främst fosfor som är orsaken till övergödning. Det här projektet syftar därför till att ta fram underlag för åtgärder för att minska fosforläckaget. Fosfor kan läcka antingen i löst form som fosfat, eller bundet till partiklar. Det har tidigare varit svårt att identifiera hotspots för båda dessa former, men ny forskning och nya dataunderlag har nu gjort det möjligt att göra det med mycket större precision än tidigare.

Mätningar från olika mätstationer i svenska jordbruksområden visar att förlusten av löst fosfor i förhållande till totalfosfor i dräneringsvattnet varierar mellan 0 och 100 %, med ett medelvärde på 30% (Linefur m.fl, 2018 a och b), vilket visar att förlusten av löst fosfor kan vara av stor betydelse i vissa områden och från vissa fält. Risken för läckage av löst fosfor är störst från jordar som har låg bindningskapacitet för fosfor (Sharpley, 1995; Maguire & Sims, 2002; Nawara et al., 2017; Zehetner et al., 2018) och då särskilt om de dessutom tillförts mycket fosfor genom till exempel gödsling så att jorden har högt fosforinnehåll. Jordar med hög bindningskapacitet för fosfor har vanligen också lågt läckage av löst fosfor. Förekomsten av järn- och aluminiumhydroxider är särskilt avgörande för en jords fosforbindande förmåga (t. ex. Beek & van Riemsdijk, 1979; van Riemsdijk et al., 1984; van der Zee et al., 1987; Breeuwsma & Silva, 1992). Bindningsförmågan kan bestämmas utifrån en jords kemiska egenskaper, och olika kemiska analyser av jordar skulle kunna användas för att på förhand kunna bedöma om en jord riskerar att vara en högläckande jord (Khiari et al., 2000; Kleinman & Sharpley, 2002; Sims et al., 2002; Nair et al., 2004; Börling et al.,

2004; Ulén, 2006; Wang et al., 2012). För att dessa kemiska analyser ska kunna användas mer generellt som beslutsstöd avseende jordbruksdrift och åtgärdsplanering för minskad miljöpåverkan måste analyserna vara lättillgängliga och ha en rimlig kostnad. Helst skulle ordinarie markkarteringsstandarder kunna användas. De markkemiska analyser som görs inom markkarteringen är främst avsedd för att ge underlag för gödslingsplanering och har varit trubbiga verktyg vid bedömning av läckagerisk. Genom att utöka ordinarie markkartering för att inkludera något mått på jordens bindningskapacitet för fosfor och därmed kunna bedöma jordens fosformättnadsgrad, skulle den antagligen kunna fungera bättre som underlag i åtgärdsarbetet. Inom ramen för Rich Waters har ett stort antal jordprov analyserats för att testa möjligheten att använda utökad markkarteringsdata till ett riskbedömningsverktyg för läckage av löst fosfor.

Partikulärt fosfor läcker istället från lerjordar där det lätt kan uppstå yterrosion där vattnet rinner av efter regn och vid snösmältning. Det finns två huvudtyper av ytavrinning: Hortonsk och mättad ytavrinning. Hortonsk ytavrinning uppstår när nederbördsintensitet överstiger markens infiltrationsförmåga. Under svenska förhållanden har jordarna generellt en hög infiltrationskapacitet som sällan överskrids med regnintensitet. Minskning av infiltrationskapacitet på grund av, till exempel, tjäle, markpackning eller plogsula kan dock leda till lokal förekomst av hortonsk avrinning. Mättad ytavrinning sker i utströmningsområden där grundvattennivån är vid eller över markytan. Denna typ av avrinning påverkas av topografin där de låglänta områdena som har stora tillrinningsområden är i riskzonen för förekomst av ytavrinning. Under sådana förhållanden kontrolleras hydrologi och vattentransport i landskapet i första hand av topografin. Därför, med hänsyn tagen till klimat, markegenskaper och odlingsåtgärder, kan högupplösta topografiska kartor med framgång användas för att förutsäga rumslig fördelning och även kvantifiering av ytavrinning, erosion och förluster av näringsämnen, bekämpningsmedel och andra föroreningar. Transport av P från terrestra till akvatiska miljöer beskrivs ofta med en struktur som består av fyra steg (källa, mobilisering, leverans och påverkan) och benämns som ”P transfer continuum” (Haygarth et al. 2005). Även åtgärderna för att minska diffusa P-förluster från åkermark kan utifrån detta koncept delas in i sådana som reducerar frigörelsen av fosfor från marken och från tillsatta gödselmedel, och sådana som minskar eller förhindrar själva transporten av fosfor på markytan eller i marken (Bergström et al. 2007). Åtgärderna som syftar till att minska eller förhindra transporten av näringsämnen är t ex skyddszoner, våtmarker och fosfordammar. En skyddszon är en vallbesädd zon eller remsa utmed ett vattenområde som ligger på åkermark och i direkt anslutning till vattenområdet. Syftet med skyddszonen är att minska ytavrinningen, erosionen och läckaget av näringsämnen från åkermarken. Skyddszonerna minskar även risken för att rester av växtskyddsmedel hamnar i sjöar och vattendrag. I en överblick över studier på skyddszoners kapacitet framgår att man kan förvänta sig en 50 procentig reduktion av sedimenttransport och totalfosfor (Dorioz et al. 2006). Hoffmann

med fl. (2009) konstaterar att retentionen av total P (TP) från ytavrinningen i skyddszonerna är generellt hög (32-93 %; median 67%) även om skyddszoner är mindre effektiva med avseende på retention av löst P (71 till 95%, median 65%). Denna höga reduktionsfaktor innebär att skyddszonens effektivitet huvudsakligen styrs av vattenvolymer samt av halten suspenderat material och till de bundna näringsämnen eller växtskyddsmedel som når fram till skyddszonen. Med andra ord, den viktigaste faktorn för skyddszonens effektivitet är dess placering och dess bredd i förhållande till placeringen (Ahlgren et al. 2011). Detta innebär att ett område med stor ytavrinning kräver breda skyddszoner, men om ingen ytavrinning förekommer blir skyddszonen inte effektiv oavsett bredd, sammansättning eller skötsel. I praktiken innebär detta att en enskild lantbrukare bör anlägga skyddszonerna efter de skiftande förutsättningar som gäller på hans mark, och acceptera en bredare skyddszon där den gör nytta mot att han får bruka de delar där skyddszonen knappast gör någon nytta.

Fosfordammar är små dammar som anläggs högt upp i vattensystemet nära den åkermark som läcker fosfor, främst i syftet att avskilja fosfor och fastläggning av sediment. Våtmarker (för näringsretention) anläggs främst för att rena kväve, men beroende på utformningen kan de också ha en betydande effekt på avskiljningen av fosfor. Storleken och utformningen på våtmarker och fosfordammar kan vara ganska olika, men i dagsläget anläggs större dammar med samma utformning som fosfordammar (djupdel följt av en grunddel med vegetation) och även små våtmarker. En jämförelse av våtmarker i södra Sverige visade att det var större skillnad mellan retentionen olika år än mellan våtmarker, trots att våtmarkerna skiljde sig i storlek och belastning. Detta indikerar att vattenflödet som varierar mycket mellan år har stor betydelse för hur mycket fosfor och kväve som avskiljs och flera studier visar på att den hydrauliska belastningen är en viktig faktor (Braskerud et al. 2005; Land et al. 2016). Förutom den hydrauliska belastningen har även den totala näringsbelastningen visat sig vara en viktig faktor för en effektiv retention av både kväve och fosfor i våtmarker/dammar.

Således är uppskattningen av effektiviteten av två av de viktigaste åtgärderna för att minska fosforförluster helt beroende av vår förmåga att uppskatta på ett tillförlitligt sätt hur mycket ytavrinning som når en viss skyddszon, respektive hur mycket vatten och näringsämnen som når en våtmark/fosfordamm. Det har tidigare varit svårt att identifiera risker för erosion på ett objektivt och tillförlitligt sätt, men tack var nya högupplösta höjdkartor är detta nu möjligt. I forskningsprojekt har vi utvecklat metoder för att ta fram kartor för erosionsrisk. Inom Rich Waters har vi kunnat tillämpa dessa metoder till att ta fram sådana kartor. Likaså har vi nyttjat högupplösta kartor för att beräkna hydraulisk- och näringsbelastning till potentiella våtmarker, som i ett senare steg använts för att beräkna optimal storlek och potentiell retention av eventuella nya våtmarker/dammar.

Vattenkemisk övervakning av vattendrag görs vanligtvis genom att vattenprover samlas in regelbundet för analys på lab. Vanliga provfrekvenser är varje eller

varannan månad, men varannan eller varje vecka förekommer också. Eftersom en stor del av transporten av partikulär fosfor sker under korta episoder är det en stor risk att man med provtagningen missar dessa episoder. Fosfortransporten beräknas vanligen genom att man linjärinterpolerar halterna mellan vattenproverna till dygnshalter som sedan multipliceras med dygnsflöden så att man får dygnstransporter som kan summeras till månads och årstransporter. Missar man en episod underskattar man transporten och råkar man pricka in en halttopp med provtagningen överskattar man transporten för den månaden. En lösning på detta är att man istället direkt i vattendraget mäter halten eller något annat som är korrelerat till det man är intresserad av. Olika sensorer för att mäta vattenkvalitet direkt i vatten har funnits länge, men det är först på senare tid som dessa fungerar praktiskt att ha installerade i naturvatten under längre perioder utan att de behöver rengöras och kalibreras. Det är framför allt utvecklingen av strömsnål elektromekanik som gör det möjligt att förse sensorerna med motordrivna borstar som gör rent dem. Tillsammans med utvecklingen av LED-lampor har det gjort det möjligt att göra sensorer som kan ligga ute månadsvis utan tillsyn och endast drivna av vanliga batterier. I det här delprojektet testar vi olika sensorer för att se vilka som fungerar i jordbruksvattendrag för att kvantifiera halter av näringsämnen.

Sensorerna kan kopplas till telemetrienheter som sänder data via telefonnätet till servrar och som sedan kan göras direkt tillgängliga på en websida. Det gör det möjligt att ha kontroll på att sensorerna fungerar som de ska utan att behöva åka ut till provplatserna. Man kan också ladda ner data för utvärdering och ha larm som varnar för när mätvärdena passerar kritiska gränsvärden. Utöver denna användning kan tillgängliggörandet av mätdata i realtid göra det möjligt att använda sensordata i pedagogiskt syfte för att öka förståelsen för vad som påverkar förlusten av näringsämnen, både för lantbrukare och handläggare inom vattenförvaltningen.

För att välja vilken typ av fysisk åtgärd som passar bäst på en viss plats i landskapet behövs information om hur olika åtgärder fungerar under olika förutsättningar. Om det behövs åtgärder mot erosion som beror på att grundvatten trycker upp i fältets låglänta delar nära vattendraget kan det behövas åtgärder som förbättrar fältets dränering men också att se till att markavvattningen nedströms fältet fungerar tillfredsställande. Om det rinner stora mängder jord i dräneringssystemet från fälten innebär det att partikulärt bunden fosfor förs ut i vattendraget. Då kan det också finnas behov av åtgärder på fältet som strukturstyrning, ändrade jordbearbetningsrutiner, mer vintergrön mark men också att dräneringssystemen behöver renoveras.

Kunskap om olika åtgärders funktion och effekt på näringsläckage tas fram mestadels genom fältförsök, både i Sverige och andra länder. Resultaten publiceras i vetenskapliga artiklar och i rapporter. Inom många projekt tas därefter åtgärds kataloger fram där aktuell kunskap om åtgärderna sammanställs, exempelvis inom Rich Waters C5 (Aronsson et al. 2019) där de vanligaste

fosforåtgärderna i jordbruksmark redovisades. I ett efterföljande projekt som delfinansierades av Havs- och vattenmyndigheten sammanställdes även åtgärder mot kväveläckage och där även effekten på andra faktorer bedömdes som växthusgasbalanser, vattenretention, kolinlagring etc. (Kyllmar et al. 2020).

Att veta hur olika åtgärder fungerar och vilken effekt de har behövs i hela samhället, från lantbrukaren som ska välja åtgärder på gården till myndigheterna som ska göra nationella och regionala åtgärdsplaner. Det behövs också kunskap om åtgärderna för att effekter av olika åtgärdsprogram ska kunna utvärderas, både de som är statligt finansierade som LOVA via Havs- och vattenmyndigheten och LONA via Naturvårdsverket men också åtgärder som får stöd genom EU:s Strategiska plan som administreras av Jordbruksverket och länsstyrelserna.

Inom den här delen i Rich Waters för vi dialog med myndigheter, lantbrukare, näringen men också med andra länder och EU om hur en långsiktigt förvaltd och kontinuerligt uppdaterad åtgärds katalog ska kunna etableras. För att kommunicera om hur en sådan åtgärds katalog skulle kunna se ut tar vi fram en prototyp för en webbaserad åtgärds katalog. Vi tar också fram förslag på rutiner för hur åtgärds katalogen löpande ska kunna uppdateras, både med nya vetenskapliga data men också med erfarenheter från brukare. Åtgärds katalogen omfattar inte var åtgärder har genomförts, utan bara kunskap och erfarenheter om hur de fungerar och vilken effekt de har.

1.2 Resultat

Effekterna på miljön från detta projekt är främst indirekta genom att de verktyg som tas fram kan användas för ett mer kostnadseffektivt åtgärdsarbete. Analyser av jordprov visade att en utökad ordinarie markkartering där det även analyseras jordens förmåga att binda fosfor analyseras klart skulle förbättra möjligheten att uppskatta lösligt fosfor i marken jämfört med att endast utgå från analys av jordens fosforinnehåll. Resultaten visade att bestämning av jordens fosformättnadsgrad utifrån analys av ammoniumlaktat lösligt fosfor (P-AL) i förhållande till ett uppmätt sorptionsindex (PSI) gav bäst resultat (Blombäck m. fl. 2021; Sandström m.fl., in prep.)

De högupplösta erosionskartorna som utvecklats kan användas till följande:

- Identifiering av riskområden för mobilisering av markpartiklar och fosfor för placering och prioritering av åtgärder som t ex strukturkalkning mm
- Identifiering av riskområden för ackumulering av ytavrinning och erosion - för placering och prioritering av åtgärder som t ex skyddszoner r
- Våtmarker – optimering av våtmarkernas storlek för att öka retentionseffektivitet och för att kvantifiera våtmarkernas och fosfordammarnas potential

- Översvämningsrisk – kan användas för att planera åtgärder på landskapsskala för att undvika översvämningar

Sensorerna som installerades i tre vattendrag och en vattenpark gör det möjligt att i realtid följa vattenkvaliteten och på sikt följa upp åtgärders effekter med större noggrannhet jämfört med traditionell vattenprovtagning. Det har också gett ökad kunskap om när och varför partikulärt fosfor frigörs, både rent vetenskapligt och bland avnämare och allmänhet som får tagit del av resultaten. En fördjupad analys av dynamiken hos mätdata under flödestoppar ökade ytterligare förståelsen för hur partikulärt fosfor frigörs. Däremot var det svårt att använda högupplösta från sensorerna i dynamisk modellering.

En viktig förutsättning för ett effektivt åtgärdsarbete är att det finns lättillgänglig information om hur olika åtgärder fungerar och deras effekt på miljön. Informationen ska vara anpassad för olika målgruppers behov. Lantbrukaren vill veta vilka åtgärder som är lämpliga för gården och hur de bäst anläggs. Myndigheterna vill ha siffror på effekten vid olika förutsättningar i jordart, klimat och odlingsinriktning för att kunna räkna på om insatta åtgärder ger förväntad effekt. En åtgärds katalog som förvaltas långsiktigt och uppdateras vartefter ny kunskap kommer fram är ett kostnadseffektivt sätt att stödja både lokalt och nationellt åtgärdsarbete.

Deltagandet i projektet har gett oss som forskare en utökad kontakt med dem som arbetar praktiskt med vattenförvaltning vilket bidragit till en ökad förståelse för de utmaningar inom åtgärdsarbetet som avnämare på alla nivåer ställs inför.

1.3 Användningsområden för resultaten

Resultaten från projektet ska användas av beslutsfattare och utförare inom vattenförvaltningen på alla nivåer. Erosionskartor och verktyg för löst fosfor ska användas som beslutsstöd för lokalisering av åtgärder mot läckage av näringsämnen från jordbruksmark. Underlaget till åtgärds katalogen ska användas för val av åtgärd. Metodiken för övervakning med sensorer i vattendrag ska användas för att följa upp effekten av åtgärder. Samtliga resultat ska användas i pedagogiskt syfte för att öka kunskapen hos avnämare var och när de största förlusterna av näringsämnen sker från jordbruksmark.

2 Genomförande

2.1 Steg 1: Förberedelser

2.1.1 Hotspots och uppskattning av näringsförluster

Löst fosfor

En tidigare svensk studie om möjligheten att använda ordinarie markkarteringsdata utökad med bestämning av även järn och aluminium för att uppskatta fosfors löslighet i marken och därmed risk för fosforläckage (Ulén, 2006) har använts som utgångspunkt för den här studien. En databas med kemiska data från olika åkermarksjordar (Blombäck & Lindsjö, 2015) har kompletterats med analyser på jordar från områden som ingår i Rich Water-aktiviteter C6 och C7. Jordarnas fosforbindningskapacitet och jordarnas fosformättnadsgrad beräknades och jämfördes med analyser på lättlösligt fosfor som bestämts som vatten- respektive kalciumkloridlösligt fosfat.

Partikulärt fosfor

Sammanlagt fyra avrinningsområden identifierades av våra partner i Fas I av Life IP Rich Waters som intressanta för vår modellering: Kilaån (432.2 km²), Lillån (192 km²), Håga ån (122 km²) and Julmyra (39 km²). I fas II byttes Lillån på begäran från våra partners mot Limsta/Askö (269 km²), medan avrinningsområde Alsen (191 km²) tillkom.

För varje modellerat område samlades indata in till modellerna. Dessa indata består av:

1. Högupplösta höjdkarta (2x2m) från Lantmäteriet
2. Jordartskarta bestående av digital åkermarkskarta för jordbruksmark samt SGU:s jordartskarta för övriga markanvändningsklasser
3. Markanvändningskarta (från PLC7 projektet)
4. Avrinningskarta (SMHI)
5. Markanvändningsspecifika typhalter (SMED, PLC 7)

2.1.2 Demonstrera och utveckla sensorbaserade mätningar

Vi valde ut tre lokaler för mätningar med sensorer: Hågaån utanför Uppsala, Kilaån utanför Nyköping samt Julmyrabäcken utanför Heby. Dessa ingår i delprojekt C6 och C7.

Vi undersökte sedan marknaden för att hitta de för projektet mest lämpliga sönerna med tillhörande sensorer och telemetri. De vi valde var relativt billiga och användarvänliga vilket var viktigt för att göra det möjligt för lokala provtagare att hjälpa till med underhållet av sensorerna. De sensorer vi utrustade sönerna med var initialt turbiditet (grumlighet), konduktivitet (mått på halten lösta salter), nitrat och ammonium. Telemetrin planerade vi att koppla till en webbtjänst som vi redan hade samarbete med för andra sensorer och som möjliggjorde publik visning av utvalda parametrar.

Metodiken för att installera sönerna hade vi delvis redan utvecklat i tidigare projekt. Den innebär att sonden placeras i ett plaströr med sonden i nedre änden under vattnet på tillräckligt djup för att inte frysa under vintern och med ett låst lock i den övre änden där även telemetrin var placerad. På det sättet var utrustningen skyddad både från isflak, flytande stockar och skadegörelse.

Ytterligare två sonder med telemetri köptes in i fas två och installerades i in- och utloppet till den dagvattenpark i Gottsunda som ingår i C10. Dessa installerades i brunnar i anslutning till dagvattenparken vilket möjliggjorde att kvantifiera reningseffekten av dagvattendammen för olika föroreningar.

2.1.3 Pedagogisk användning av sensorer

Under fas 2 lyckades vi lösa tekniska problem så det blev möjligt att relativt problemfritt strömma data från sönerna till en molntjänst. Detta gjorde det möjligt att tillgängliggöra data för intresserade personer.

2.1.4 Beslutsstödsverktyg

Åtgärds kataloger som tagits fram inom andra projekt används som utgångspunkt för hur information om olika åtgärder kan struktureras och redovisas. Det är bland annat den webbaserade *Catalogue of Measures* som togs fram i InterReg-projektet Waterdrive. Katalogen har en struktur som visar både översiktlig information om varje åtgärd och mer information för den som vill veta mer. Även en rapport från SLU om åtgärdsuppföljning används som underlag. I rapporten redovisas åtgärder från fält till vattendrag och deras effekt på inte bara näringsläckage utan också vattenretention, växthusgaser, kolinlagring etc.

Viktiga lärdomar:

- Samordningen med andra workpackages försvårades på grund av tidsbrist och att vi inte var i fas tidsmässigt, och då särskilt kopplat till gårdsskalan och tillgången till markkarteringsdata. Insamlingen av olika kartor som används som underlag till beräkningarna tar tid. I många fall finns flera kartor/versioner med liknande innehåll, och därför är noggrann dokumentation viktigt.
- Flödet av data från sonden, via telemetrin till molntjänsten är tekniskt utmanande. Om man inte har egen expertkompetens ska man välja lösningar med sensorer, telemetri och webbtjänster från en och samma företag.
- Åtgärds kataloger har tagits fram i både svenska och internationella projekt. Men när projekten är slutredovisade sker ingen uppdatering av informationen i katalogerna. För att uppfylla samhällets behov av information om åtgärder behövs nationella system som kontinuerligt uppdateras och förvaltas långsiktigt. Tidigare kataloger har inte levt vidare efter projekten – därför utvecklar HaV ett system vi levererar underlag till.

2.2 Steg 2: Genomförande

2.2.1 Hotspots och uppskattning av näringsförluster

Under projektets fas 1 gjordes kompletterande kemiska analyser till befintlig databas från tidigare projekt (Blombäck & Lindsjö, 2015) och på nyinsamlad jord inom detta projekt. Statistisk analys över olika samband gjordes och regressionssamband mellan markens fosformättnadsgrad och koncentration av lättlöslig fosfor baserat på olika analysmetoder bestämdes (Blombäck et al., 2021). Studien kompletterades med hjälp av annan finansiering med analyser av ytterligare 450 jordprov från den svenska mark- och grödoinventeringen (Eriksson, 2021), för att ge ett bättre statistiskt underlag för en nationell beslutsstödsmodell. Med ett större antal jordprov fås en större bredd i jordarnas egenskaper såväl som geografisk fördelning. Statistiska samband mellan lättlösligt fosfor (vatten- respektive kalciumkloridlösligt fosfat) och olika markkemiska parametrar liksom geografisk härkomst har bestämts som underlag till ett nationell beslutsstöd för att identifiera hotspots för risker för läckage av löst fosfor. Rekommendationer för komplettering av den standardiserade svenska markkarteringen kommer att tas fram baserat på resultaten i denna studie. På grund av förseningar på grund av covidpandemin har beslutsstödet inte kunnat användas i praktiken ännu.

För uppskattningen av förlusten av partikulärt fosfor användes en modifierad USPED (Unit Stream Power-based Erosion Deposition) modell (Djodjic and Markensten 2019) för att beräkna erosionsrisk. USPED är en enkel modell som beräknar rumslig fördelning av erosion och deposition vid ”steady state” förhållanden av vattenflödet (dvs ytavrinningen), som kan approximeras som en funktion av uppströms bidragande area (Mitasova et al. 2001). Netto erosion och deposition är beräknade som divergensen av sedimentflödet i flödets riktning med hänsyn tagen till topografisk komplexitet både i flödets/lutningens riktning (längsprofil, profile curvature) och vinkelrätt mot flödets/lutningens riktning (tvärprofil, tangential curvature) (Warren et al. 2005). I övrigt används i USPED samma faktorer som i USLE/RUSLE vilka beskriver nederbördens och avrinningens effekt på erosion (R faktor), jordartens erosionskänslighet (K värde) samt effekten av vegetationstäcket (C värde).

USPED ekvationerna är presenterade i (Mitasova et al. 1996) och (Mitas and Mitsova 1998) implementerades i PCRaster, som är ett programmeringsspråk och programvara som möjliggör integrering av GIS med dynamisk modellering (van Deursen 1995). Programmet möjliggör dynamisk modellering med rumsligt distribuerade data och har utvecklats vid universitetet i Utrecht i Nederländerna. Som ett resultat av implementeringen och tillämpningen av USPED ekvationerna i PCRaster erhålls erosionskartor där erosions- och depositionsområden är identifierade. Sådana kartor kan jämföras med observationer av erosion eller ytavrinning i de studerade områdena, om sådana är framtagna genom t ex

lantbrukarnas egna observationer och erfarenheter eller genom fältvandringar. Kartorna erbjuder en högupplöst visualisering av erosions- och depositionsområdena. I nästa steg, beräknades ackumulering av det transporterade materialet längs flödesvägarna. Således kan man kvantifiera förluster och jämföra erhållna resultat med långtidsmedelvärden av uppmätta värden för att utvärdera rimligheten i beräkningarna. Framräknade erosions- och depositionsvärden har i detta fall flödesackumulerats med hjälp av en funktion i PCRaster som heter "accutthresholdflux" som transporterar material (i detta fall suspenderat material) nedströms över ett lokalt dräneringsnätverk när en viss tröskel överskrids.

En trestegsmodell användes för att beräkna storleksoptimering av våtmarkerna och deras retentionspotential. I det första steget beräknas möjlig placering av våtmarker/dammar utifrån deras area och hydraulisk belastning. Utvecklingen av högupplösta distribuerade modeller för att beräkna erosionsrisk (Djodjic and Villa 2015; Djodjic et al. 2018) inbegriper också beräkningen av flödesackumulering. Flödesackumulering kan användas för att beräkna årlig hydraulisk belastning i varje beräkningscell (2x2m eller 10x10m). I det andra steget, efter att ha beräknat den optimala hydrauliska belastningen beräknades P-belastningen. Vi modellerade P-belastningen med en kombination av distribuerad modellering och exportkoefficienter (Johnsson et al. 2016) producerade med ICECREAM-modellen (Larsson et al. 2007). Samma flödesriktning och flödesackumuleringskartor som i det första steget användes. Exportkoefficienterna är baserade på uppsättning av parametrar som beskriver ett produktionssystem, inklusive geografisk region, klimat, jordbruksåtgärder och produktion, distribution av grödor, markens texturfördelning, markens P-halt och fältlutningen. Sverige är indelat i 22 utlakningsregioner som skiljer sig åt när det gäller klimat, skörd och produktionssystem. De senare beskrivs utifrån uppgifter om gödsling och gödsel, plöjning, sådd, skörd etc. som samlas in av SCB. Vidare är åkerarealen indelat i 10 texturklasser och 15 grödor. Baserat på grödfördelningen, växtföljder som täcker en modelleringsperiod av 15 000 år skapas för kombinationer av varje utlakningsregion och varje marktexturklass (Johnsson et al. 2019). Detta görs genom att upprepa en klimattidsserie som täcker en 30-årsperiod. Därefter, baserat på alla år när en viss gröda förekommer i den 15 000-åriga grödsekvensen, genomsnittliga årliga värden, dvs exportkoefficienter, för N och P förluster beräknas för varje kombination av gröda, jordtexturklass och utlakningsregion. I det tredje och sista steget i vårt tillvägagångssätt användes en ekvation från Weisner med fl. (2016) för att utifrån den modellerade näringsbelastningen modellera P retention. Baserat på uppmätta data från 15 våtmarker har Weisner med fl. (2016) utvecklat en polynom andragsgradsfunktion ($R^2 = 0,70$) för att uppskatta årlig P retention som funktion av årlig P-belastning:

$$P_{\text{ret}} = 0,0003 * (P_{\text{belastning}})^2 + 0,4584 * P_{\text{belastning}}$$

där P_{ret} ($\text{kg ha}^{-1} \text{år}^{-1}$) är P retention och $P_{\text{belastning}}$ ($\text{kg ha}^{-1} \text{år}^{-1}$) är den modellerade P-belastningen i steg 2. Modellen är mer i detalj beskriven i en

vetenskaplig artikel (Djodjic et al., 2020). Samma modell har också använts för att uppskatta kostnadseffektivitet av redan anlagda våtmarker i två regioner i Sverige (Djodjic et al., 2022) samt för att undersöka de LOVA-våtmarker som anlagts mellan 2017 och 2022 (Fredricsson, 2024). Dessutom har beräkningen nu skalats upp för hela Sverige (Geranmayeh m. fl., 2024).

Slutligen beräknades också översvämningsrisk för åkermark. Risken är beräknad utifrån högupplöst höjddata (2m grid) med hänsyn tagen till höjdförhållandet till närmaste vattendrag/sjö. I detta fall beräknades potentiell översvämmad area (m^2), volym vatten (m^3) som ryms inom det potentiella riskområdet samt uppströmsarea (ha) som bidrar till översvämningsområdet i fråga.

Alla ovannämnda resultat har samlats och presenterats i form av en ArcGIS StoryMap (<https://arcg.is/1HC001>). Norrström StoryMap visas som en interaktiv webbplats, där man hittar både data och visualiseringar av lokala förhållanden. Där finns kartor och data för Mälaren och Hjälmaren och ett antal mindre sjöar (Norrströms huvudavrinningsområde, 22 650 km^2). Man kan själv zooma in på det område/enskilt fält som man själv är intresserad av. Till varje karta/modellering finns en kort beskrivning och förslag på hur materialet kan användas för att diskutera och planera åtgärder – till exempel tillsammans med markägare.

Med hjälp av kartorna kan du:

- Synliggöra vattenvägar (diken, dränering, avledning)
- Bedöma risker för ytavrinning och erosion
- Ta del av beräknade transporten av näringsämnen i landskapet
- Ta del av beräknade våtmarkers potential för att minska övergödningen
- Identifiera områden som riskerar att drabbas av översvämningar

Sedan november 2022 när StoryMap lanserades har sidan besökts nästan 5 000 gånger. En liknande StoryMap har också utvecklats för Himleåns huvudavrinningsområde (<https://arcg.is/0a4bem>) som ett stöd i pilotprojektet där markägare, LRF, Länsstyrelse, åtgärdssamordnare och vattenråd ska genomföra en åtgärdsanalys och kartlägga realistiska och förankrade åtgärder.

Våtmarksberäkning finansierat av de nationella myndigheterna Jordbruksverket och Hav finns nu också klar för hela Sverige.

2.2.2 Demonstrera och utveckla sensorbaserade mätningar för transportberäkningar

De tre sonderna med tillhörande telemetri installerades i Hågaån, Kilaån och Julmyråån. Det första problemet som uppstod var att nitrat- och ammoniumsensorerna snart gav orimliga resultat. Dessa sensorer baserar sig på en teknik med jonselektiva membran. Det visade sig att dessa inte klarar av höga halter av humus som vi har i många svenska vatten. Sensorerna för nitrat och ammonium ersattes med syrgassensorer på bekostnad av leverantören. Eftersom

halterna av nitrat och ammonium är relativt låga i de undersökta vattendragen var konsekvenserna för bortfallet av dessa parametrar inte så stora. Huvudfokus på åtgärdsarbetet inom Norra Östersjön vattendistrikt är mot fosfor som vi mäter indirekt med turbiditetssensorerna.

Det andra tekniska problemet gällde uppkopplingen av sänderna med telemetri. Det var svårt att få stabila uppkopplingar mellan sänderna och webbtjänsten och svårt att utreda problemen. Problemen minskade avsevärt efter att vi bytt webbtjänst till en som tillhandahålls av företaget som tillverkar sänderna (InSitu). Det var dock först efter att InSitu utvecklat en egen telemetrienhet våren 2021 som telemetrien fungerade som den skulle. Därefter har vi haft fungerande telemetri som gör det möjligt att följa mätningarna i realtid och därmed snabbt kunna upptäcka och åtgärda eventuella fel och behov av batteribyte i tid. Det gör det också möjligt att löpande ladda ner och utvärdera data.

Det första användningsområdet av sensordata i det här projektet var att beräkna transporten av TotP med hjälp av turbiditetsmätningarna med sensorer och jämföra med transporter beräknade från provtagning och labanalys. Utvärderingen finns rapporterad i projektrapporten till Rich Waters samt i tre examensarbeten. Utvärderingen av data omfattar följande steg:

- Kvalitetssäkring och rensning av data
- Upprättande av regressionssamband
- Eventuell postkalibrering
- Transportberäkning

I första steget granskades data både visuellt och med ett filter som tog bort enstaka extremvärden som betraktades som orealistiska. För regressionssambanden mellan TotP och turbiditet användes i första hand labanalyser av vattenprover. I den första utvärderingen av data från Kilaån saknades uppmätt turbiditet (vattenprov) och även klockslag för vattenkemiproven. Vi fick därför basera sambandet på labdata för TotP och dygnsmedelvärden av turbiditet från sensorn. R^2 -värdet för regressionssambandet blev då bara 0,66. Efter att turbiditet lagts till analysparametrarna för vattenproverna kunde ett nytt samband upprättas med r^2 -värdet 0,96. För Hågaån var sambandet 0,92 och för Julmyråån 0,97.

I Julmyrabäcken påvekades turbiditeten oväntat av bävrar som byggde en damm uppströms, aktiviteten hos bävrarna ledde till höga turbiditetstoppar vilket dölde eventuella andra naturliga och antropogena signaler i bäcken. Arbetet med att följa upp åtgärdsarbetet på Julmyra Horsecenter med sensormätningar var därför inte längre meningsfullt.

I ett examensarbete jämfördes fosfortransporten i Kilaån 2018 beräknad med labdata från varje vecka, varannan vecka, varje månad samt varannan månad med beräkningar baserade på en kombination av sensordata och labdata (Ottander, 2019). Kombinationen av sensordata och labdata gav alltid högre transport

jämfört med enbart labdata, då man ofta missar topparna i halt. Skillnaden var dock liten för veckovisa prover. För prover varannan månad gav kombinationen med sensordata en årstransport i samma storleksordning som veckovisa prover. Resultaten indikerar att en kombination av en glesare provtagning och mätningar med sensorer kan vara ett bra alternativ. Resultat från fler år är dock nödvändiga för att dra säkra slutsatser.

Resultat från sex andra vattendrag visar att månadstransporten ofta felskattas med vanlig månadsvis provtagning, men att det ofta jämnar ut sig på årsbasis (Haglund 2021). För att övervaka långsiktiga förändringar av fosfortransporter är månadsvis provtagning ofta fullt tillräckligt. Eftersom en kombination med sensorer ger mindre fel för enskilda månader minskar det felet i månadstransporten vilket ökar den statistiska styrkan och ökar möjligheterna att detektera effekten av åtgärder uppströms.

Installationen av sonder i dagvattendammen i Gottsunda stötte på nya utmaningar. Brunnen i inloppet torkade ofta ut och under vintern fanns risk för frysning av sensorn. Trots detta lyckades vi genomföra mätningar under flera år. Uppsala kommun utförde kompletterande mätningar utanför RichWaters som omfattade bl.a. vattenföringsmätningar i in och utlopp samt flödesproportionella provtagning (Svenda, 2024). Dammens utformning och praktiska skäl gjorde proverna för vattenkemi inte alltid togs på exakt samma ställe som där sönerna var placerade. Detta gjorde att resultaten blev mer svårtolkade, men utvärderingen av data visade ändå att högfrekventa mätningar med sensorer är en kostnadseffektiv metod för att mäta reningseffekten i en dagvattendamm.

Turbiditetsdata kan även användas som en proxy för vissa metaller (partikelbundna), och kan då även förbättra transportberäkningar av dessa metaller. I Hågaån kunde turbiditetsmätningar användas för att beräkna transporter för totalhalter av Cr, Fe, Pb, V och Zn (Jonsson, 2020). Ett villkor som då sattes var att r^2 -värdet för sambandet mellan turbiditet och metallhalt skulle vara $> 0,6$. I mätningar i vattenparken i Gottsunda kunde turbiditeten användas som proxy för totalhalter av metaller för Cd, Cr, Pb och Zn med samma villkor för sambandet.

Ett annat användningsområde för sensorerna var att använda dem för så kallad ”adaptiv provtagning”. Vid i förväg uppsatta halter av exempelvis löst syre eller turbiditet, skickas ett sms som larm. Detta gjorde det möjligt att ta extra prover vid höga halter, vilket gav mer pålitliga regressionssamband mellan TotP och turbiditet, eller undersöka exceptionellt låga värden av löst syre i vattendragen.

2.2.3 Uppskalning av sensordata med modeller

Sensordata användes även i ett flertal modelleringsprojekt, dels för att undersöka hur höga halter av turbiditet och flödestoppar var relaterade till varandra (kallad hysteresisanalys). Om turbiditeten reagerade snabbt eller långsamt på det ökade

flödet kunde ge insyn i de processer som orsakat grumligheten i vattendraget. Denna metod visade sig vara mycket informativ för episoder där flödet var medelhögt (ej vårflöde, eller lågflöden) och skulle kunna användas inom vattenförvaltningen (Lannergård et al. 2021).

Högfrekvent data användes även i den processbaserade modellen INCA-PECo för att modellera fosfortransport i Sävjaåns avrinningsområde (Lannergård et al. 2024). Det visade sig vara svårt att använda turbiditet som proxy för suspenderat material och TP för att kalibrera modellen. Då processer i modellen är beroende av varandra kunde inte båda parametrarna användas på ett trovärdigt sätt utan behövde kombineras med lågfrekvent data, vilket ledde till otydliga modellresultat och svårighet att tolka resultaten. Slutsatsen från detta arbete var att vi behöver förstå relationen mellan turbiditet och suspenderat material/TP bättre innan vi använder den i processbaserade modeller.

2.2.4 Pedagogisk användning av sensorer

Den ursprungliga idén gick ut på att placera ut ett större antal billiga sensorer i diken kring en gård för att öka kunskapen hos lantbrukare hur odlingen påverkar vattenkvaliteten. Det visade sig dock att det ännu inte finns några lämpliga sensorer för ändamålet. Vi gick därför över till att undersöka om resultaten från sensorerna i vattendragen kan användas i pedagogiskt syfte för att öka kunskapen om näringsläckage hos lantbrukare i avrinningsområdet. En enkät har genomförts där intressenter i ett avrinningsområde tillfrågades om hur användbara de tyckte att sensormätningar var. En stor majoritet av de tillfrågade intressenterna uttryckte att korrekta uppskattningar av näringsämnen är av stor betydelse för genomförandet av EU:s vattendirektiv, och att det skulle vara önskvärt att ha mer frekventa data än vad som kan tillhandahållas av vanliga vattenprover. Nästan alla trodde att tillgång till vattenkvalitet/kvantitetsdata i realtid skulle vara av intresse för människor som bor i avrinningsområden med sensorövervakning. Bland hindren för att faktiskt använda sensorer rankades investeringskostnaderna och den tid som krävs för att utföra underhåll högst. Detta arbete är än så länge opublicerat, men kommer att inkluderas i kommande arbete i EU projektet Nordbalt Ecosafe.

En annan typ av pedagogisk användning av sensorer är de vi placerade i in- och utloppet till en dagvattenpark. Planen var att göra data tillgängliga publikt för att visa på vattenparkens renande effekt på vattnet. Detta är dock en utmaning på grund av den kvalitetssäkring som behövs av sensordatan. Data i realtid presenteras idag för utvalda parametrar från Hågaån nedströms dammen inom EU projektet Nordbalt Ecosafe (denna data är ej kvalitetsgranskad).

2.2.5 Beslutsstödsverktyg

I rapporterna “Sensorer för vattenkvalitet i miljöövervakning av vattendrag” (Fölster m. fl. 2019) och “In-situ sensorers användning i nationell miljöövervakning” (Lannergård & Fölster, 2023) beskrivs våra erfarenheter av

projektet, hur in-situ sensorer bör hanteras och installeras för att optimera kvaliteten på data, olika användningsområden och kvalitetssäkringsprocesser beskrivs (Lannergård & Fölster, 2023). Dessa rapporter är publicerade online och bör kunna vägleda nya användare av sensorer i beslut, genom de erfarenheter vi fått under projektets gång.

En prototyp för nationell åtgärds katalog tas fram i samråd med Havs- och vattenmyndigheten, Vattenmyndigheterna, Jordbruksverket och LRF. Prototypen utvecklas baserat på inventering av befintliga system och behov av information om åtgärder hos de olika organisationerna. Erfarenheter av kunskapsdelning om åtgärder från andra länder inkluderas även. I prototypen struktureras informationen om åtgärder på ett systematiskt sätt så att olika typer av användare kan hitta relevant information. Ett antal åtgärder av olika typ väljs som exempel. Ett förslag tas fram för långsiktig förvaltning av åtgärds katalogen samt hur den kan uppdateras med ny kunskap.

Viktiga lärdomar:

- Sambanden för löslighet av fosfor från ordinarie svensk markkartering som var presenterade i en tidigare publicerad studie baserades på ett begränsat antal jordprov. Under arbetet i Rich Waters, då ett större antal jordprov ingått i studien, har sambanden visat sig vara annorlunda, vilket kommer att leda till annan rådgivning. Lärdomen är att beslutsstöd måste bygga på en omfattande datamängd innan de börjar appliceras i praktiken. Högupplösta höjddata är mycket användbara för att utveckla olika typer av beslutsstödsystem för att minska påverkan från jordbruk.
- Kartmaterialet utgör ett utmärkt diskussionsunderlag för att identifiera kritiska källområden för näringsämnesförluster och för att diskutera lämplig åtgärd, dess utformning och förväntade effekter
- Modelleringsresultat inklusive riskkartorna bör göras tillgängliga till alla utan alltför höga krav på tekniskt kunnande (t ex GIS-kompetens) hos slutanvändarna
- Nya sensorer måste testas i den specifika miljön
- Sensorer är ett bra komplement till gles provtagning och fördjupad analys
- Sensorer – telemetri – webbtjänst ska vara från samma leverantör
- Det finns en god kunskap hos myndigheter och organisationer om behovet av att dela kunskap om åtgärder. I praktiken förutsätter det att organisationerna också har det i sina uppdrag.

2.3 Budget och finansiering

Till stora delar har vi följt budgeten, men det har blivit en del förseningar. Exempelvis utvecklingen av verktyget för läckage av löst fosfor eftersom det laboratorium som skulle göra nödvändiga analyser stängdes ner under pandemin. Uppskalningen av sensordata med modeller har försenats på grund av

föräldraledighet. Inköpet av sensorer kunde göras inom budget eftersom vi gjort en ordentlig marknadsundersökning före projektet.

Analysarbetet för framtagning av beslutsstöd av löst fosfor har behövt kompletterande finansiering från Stiftelsen svensk växtnäringsforskning, Jordbruksverket liksom intern finansiering.

I den ursprungliga budgeten skulle vi köpa många billiga sensorer för placering i direkt anslutning till gårdar. Eftersom vi inte hittade lämpliga sensorer och den direkta nytta av sådana mätningar för lantbrukarna var tveksam, köpte vi istället in två sonder som vi placerade i in- och utloppen till vattenparken i Gottsunda i C10.

Åtgärds katalogen följer budget men har försenats då andra projekt har utökats och tagit mer tid, bland annat åtgärds katalogen i Waterdrive. Ett annat EU-projekt, Nordbalt-Ecosafe, har startats under projektiden som även det innebär sammanställning av kunskap om åtgärder. Utvecklingen av åtgärds katalogen i Rich Waters kan därmed dra nytta av lärdomar från Waterdrive och Nordbalt-Ecosafe. Åtgärds katalogen publiceras hösten 2024.

3 Uppföljning och utvärdering

3.1 Uppföljning av effekter i miljön

I det här projektet genomför vi inte själva åtgärder utan tar fram underlag för att genomföra åtgärder inom de andra delprojekten med åtgärdsplaner. Det går därför inte att se några direkta effekter i miljön av C8. Däremot ökar det möjligheten att de åtgärder som genomförs har optimal effekt på miljön.

I utvärderingen av användandet av sensorer för uppföljning av åtgärder kom vi fram till att högfrekventa mätningar med sensorer ger värdefull information som inte kan erhållas på annat sätt. Det ger till exempel säkrare uppskattningar av transporter av partikulärt material och möjlighet att identifiera episoder då mycket material transporteras, kopplat till rådande miljöförhållanden. Detta möjliggör en större precision i uppföljningen av åtgärder, men framförallt förståelse för vilka områden som är sårbara under vilka perioder på året. Vidare användes högfrekvent data i avrinningsområdesmodellering, då turbiditet användes som proxy för TotP och suspenderat material. Detta arbete resulterade i svårtolkade resultat, sannolikt på grund av användningen av turbiditet som proxy.

3.2 Uppföljning av projektets bidrag till kapacitetsutveckling, socioekonomiska effekter och ekosystemtjänster

Under den sista fasen utvärderas hur kapaciteten att genomföra åtgärder i samhället har utvecklats som följd av projektet. Vi visar på vilket sätt de framtagna verktygen har ökat kunskapen om hur man lokaliserar kostnadseffektiva åtgärder samt vilken potential metoderna har för att öka kostnadseffektiviteten i åtgärdsarbetet.

3.3 Dokumentation och dataförvaring

Alla modellerade resultat med de högupplösta kartorna har dels sparats på lokala servrar på SLU, dels levererat till berörda partners i varje studieområde. De högupplösta erosionsriskkartorna har dessutom gjorts tillgängliga på Jordbruksverkets hemsida (<https://jordbruksverket.se/jordbruket-miljon-och-klimatet/kartor-med-information-om-svensk-akermark#h-Riskomradenforerosion>), på Geodataportalen (<https://www.geodata.se/geodataportalen/srv/swe/catalog.search;jsessionid=040A94BA8ED8EE53D72C423284B37652#/metadata/2f1e943f-359b-44f8-ba5c-5afdcaaa6377>) och Vattenmyndigheternas ”Planeringsunderlag för åtgärder mot övergödning” (<https://ext-geoportal.lansstyrelsen.se/arcgis/apps/MapSeries/index.html?appid=25e62dc9d0ff4a3d80e8d848bf015ff2>).

Vi hoppas kunna skala upp även våtmarksberäkningen på samma sätt och göra den tillgänglig på ett liknade sätt under år 2022.

Rådata från sensorerna finns tillgängliga på en web-plats för användare med inloggning. Rensade och utvärderade finns tillgängliga i en databas på SLU. På sikt kommer dess data att ingå i ett datavärdskap kopplat till den nationella miljöövervakningen.

Prototypen för åtgärds katalogen redovisas i rapport som publiceras i SLU:s publikationsserie Ekohydrologi. En webbaserad version av prototypen redovisas i SLU:s webbsystem. Prototypen publiceras under hösten 2024.

4 Resultat

4.1 Effekter i miljön

4.1.1 *Projektets bidrag till genomförandet Förvaltningsplanen för Norra Östersjöns vattendistrikt*

Effekterna på miljön från detta projekt är främst indirekta genom att de verktyg som tas fram kan användas för ett mer kostnadseffektivt åtgärdsarbete

Baserat på analyser från 60 jordprov från i första hand åkermark men även skogsmark har ett samband mellan jordars kemiska egenskaper och risken att det finns löst fosfor i marken bestämts. Resultaten visar att en utökad ordinarie markkartering där även järn- och aluminiumhalten liksom ett sorptionsindex bestäms tillsammans med markens fosforinnehåll väl kan användas för att uppskatta lösligt fosfor. Resultaten visade dock att 60 jordprov inte täcker tillräckligt stor variation i jordars egenskaper. Därför har en kompletterande studie av ytterligare ca 450 jordprov gjorts och dessa ingår i underlagsdata för utveckling och utvärdering av ett beslutsstöd under fas 3 av projektet.

De högupplösta kartorna har stor potential att leda till mer kostnadseffektiva åtgärder. Målet med distribuerad modellering är identifiering av de mest känsliga områden inom ett avrinningsområde och en optimering av åtgärderna utifrån lokala förutsättningar.

Det är i huvudsak fyra olika typ av underlag som distribuerad modellering erbjuder:

- Riskområden för mobilisering av markpartiklar och fosfor – kan användas för att diskutera placering och prioritering av åtgärder som t ex strukturräkning mm
- Riskområden för ackumulering av ytavrinning och erosion - kan användas för att diskutera placering och prioritering av åtgärder som t ex skyddszoner och anpassade skyddszoner
- Våtmarker – optimering av våtmarkernas storlek för att öka retentionseffektivitet och således kan användas för att diskutera våtmarkernas och fosfordammarnas potential
- Översvämningsrisk – kan användas för att planera åtgärder på landskapsskala för att undvika översvämnningar

Alla kartor har via StoryMap gjorts tillgängliga för allmänheten och sidan är välbesökt med ca 10 besök per dag. Erosionsberäkningen, som täcker över 90% av svensk åkermark, finns nu som underlag i Jordbruksverkets e-tjänsten SAM Internet där jordbrukarna söker jordbrukar-stöd. Det pågår diskussioner med Jordbruksverket om en uppdatering av erosionsberäkningen med flera tilläggfunktioner, bl a modellering av områden utsatta för stående vatten. Våtmarksberäkningen är nu också genomförd för hela Sverige med finansiering från Jordbruksverket (fosfor) och HaV (kväve). Diskussionerna pågår hur dessa

resultat ska göras tillgängliga. I ett forskningsprojekt (PuddleJump) vidareutvecklar vi översvämningssberäkningen för att skapa beslutsunderlag som kan mildra översvämningsskador på åkermark och därmed även minska näringsämnesförluster.

Mätningar med sensorer erbjuder en möjlighet till uppföljning av åtgärders effekter med större noggrannhet jämfört med traditionell vattenprovtagning. Exempelvis:

- Fångas variationen av vattenkemi i vattendraget/nedströms åtgärden, vilket ger en fördjupad bild av vattendragets verkliga status, detta kan jämföras med stickprover där ett representativt medelvärde kan uppnås men perioder av höga koncentrationer ofta missas.
- Vid analys av flöde tillsammans med olika vattenkemiparametrar kan olika drivkrafter för exempelvis mobilisering av partiklar analyseras. Detta ger förståelse kring vilka områden som är sårbara för exempelvis markerosion (särskilt under vissa tider på året).

Sammanställningen av kunskap om åtgärders funktion och effekt har skett i löpande dialog med vattenmyndigheten för Norra Östersjön men också med Jordbruksverket, Havs- och vattenmyndigheten, länsstyrelserna och LRF. Diskussionerna har bidragit till att vattenmyndigheten har bättre underlag för arbeta med åtgärder som är relevanta för det lerjordsdominerade åkerlandskapet i vattendistriktets avrinningsområde. Utbytet mellan Vattenmyndigheten, de andra organisationerna och SLU har varit ömsesidigt och bidragit till att höja den gemensamma kunskapsnivån.

4.1.2 Klimateffekter

De högupplösta kartorna som tagits fram och förädlats i detta projekt som underlag till åtgärder mot övergödning kan även användas för att minska risken för ökat läckage med ett förändrat läckage. Det kan även användas för att optimera placering av dammar och översvämningsszoner för att minska risken för översvämningar.

Mätningarna med sensorer kan, om mätningarna görs i långa tidsserier, bidra till att följa upp en förändring av ökad transport av partikulärt material som är att vänta med ett mer variabelt klimat och visa på en ökad förekomst av skred.

Åtgärds katalogen inkluderar även bedömning av åtgärdernas effekt på klimatrelaterade funktioner som vattenretention, kolinlagring och växthusgasbalans.

4.2 Effekter på ökad kunskap, kapacitet

4.2.1 Stimulera och inspirera till fler åtgärder

De högupplösta kartorna fungerar som en plattform för dialog om åtgärders placering mellan lantbrukare, handläggare och andra intressenter. Modelleringsresultat får inte ses som ett facit utan som ett diskussionsunderlag som kan hjälpa till att olika aktörer får en gemensam bild över problematiken och möjliga lösningar. Vi tror att dessa resultat kan hjälpa tillsynsmyndigheter och beslutsfattare att få en bättre lokalkunskap samtidigt som lantbrukarna får utrymme och möjligheter att testa och bedöma egna observationer och använda sin breda lokalkännedom och kompetens att både ifrågasätta och förbättra de framräknade resultaten. Resultaten har bland annat använts för att vidareutveckla och förbättra Vattenmyndigheternas uppskattningar av åtgärdsutrymme och effekter (Aronsson et al. 2019) men också som underlag vid framtagandet av lokala åtgärdsprogram (van der Nat et al. 2019). De framräknade resultaten användes i åtgärdsarbetet även i Alsens avrinningsområde av en oberoende konsult (Heeb och Lovang, 2022). De framkomna synpunkter har tagits hänsyn till och våtmarksberäkningen har uppdaterats för att inkludera våtmarkernas storlek i kartan. Vi har också fått indikationer från våra kontakter att resultaten används i många fler andra projekt och sammanhang men det är svårt att kvantifiera eftersom resultaten är fritt tillgängliga att användas av alla utan att vi kan följa det på ett effektivt sätt. Antal besök på StoryMap och den stora intresse har dock resulterat i att de flesta av våra resultat skalats upp till nationell nivå.

Mätningarna med sensorer inom Rich Waters har stimulerat Mälarens vattenvårdsförbund att installera en sensor i Sagån. Erfarenheterna från Rich Waters har även bidragit till att mätningarna med sensorer inom den nationella miljöövervakningen av vattendrag har utökats. Sensormätningarna i projektet lett till ökad kunskap inom följande områden:

- Optimerad installation för mätningar under hela året, problemhantering, underhåll
- Kvalitetskontroll och datahantering.
- Kartläggning av olika användningsområden (exempelvis test av parametrar), för olika intressenter.
- Resultat från sensorer har ett pedagogiskt värde i att illustrera den stora variationen i halter.
- Processförståelse vid analys av vattenföring tillsammans med vattenkemi uppmätt från parametrar, förståelse för hur miljöförhållanden påverkar vattenkemin.
- Erfarenhet av användning av högfrekvent data i modellering.
- Realtiddata från sensorer har ett litet värde för direkt användning på gårdsnivå.

Åtgärds katalogen och behovet av kunskap om hur åtgärder fungerar under olika förutsättningar har presenterats och diskuterats i olika sammanhang, både med myndigheter och med lantbrukare och lokala åtgärdssamordnare. Många möten har varit fysiska vilket har ytterligare bidragit till att konkret och gemensamt kunna utveckla kunskapen om åtgärder. Dialogen har medfört att vetenskapliga resultat når ut till användarna och att forskningen har fått ökad förståelse för användarnas behov. Exempel på åtgärder som har lyfts fram är renovering av dräneringssystem i åkermark för att förbättra åkermarkens produktionsförmåga och därmed näringsupptag liksom att markavvattningen fungerar. Dessa båda åtgärder har också fått ökat utrymme inom rådgivningen och stödet genom Strategisk plan för renovering av dräneringen har fått ett stort söktryck.

4.3 Effekter samverkan och nätverk

Hela projektet har av oss som deltar i C8 upplevts som mycket stimulerande genom de nya kontakter vi fått, både i de direkta samarbeten vi har med andra delprojekt och indirekt genom de kontakter vi fått på olika projektmöten. Som forskare på ett universitet har det gett oss en ökad förståelse för utmaningarna inom åtgärdsarbetet som avnämare på alla nivåer ställs inför. Vi har därigenom fått större möjligheter att ta fram, underlag och verktyg som faktiskt kommer till användning inom vattenförvaltningen.

Vi har även etablerat Örsundaåns avrinningsområde som ett pilotområde för dialog med samhället. Med ett område nära Uppsala har doktorander och andra forskare fått möjlighet att delta i möten med vattenråd, kommuner, Hushållningssällskapen etc.

4.4 Socio-ekonomiska effekter

I arbetet med sensorer har vi fått goda kontakter med det företag som tillverkar och levererar den utrustning vi använt i projektet. Vi har deltagit i betatester av ny utrustning och kunna bidra till utvecklingen både av hårdvara och mjukvara.

4.5 Ekosystemtjänster

De framräknade kartorna, i synnerhet våtmarkskartan, kan användas som underlag för att optimera för olika ekosystemtjänster (biodiversitet, minskad risk för översvämningar mm) även om vår fokus i detta projekt är näringsämnen. Likaså inkluderar även Åtgärds katalogen andra effekter än näringsretention för de olika åtgärderna.

4.6 Nyttor för partners

De olika kartorna har fått stor betydelse som beslutsunderlag, både inom Rich Waters och annat arbete med åtgärdsplanering. De är också till nytta som diskussionsunderlag i samråd kring åtgärder.

I arbete med sensorer har vi aktivt bidragit i utvecklingen av sonder och telemetri genom att dela med oss av de erfarenheter vi samplat på oss inom Rich Waters.

Generellt har vår sakkompetens som forskare varit till nytta för våra partners inom och utanför projektets ramar.

4.7 Ringar på vattnet

Liknande underlag har tagits fram för ytterligare två svenska avrinningsområden (söder om Roxen och Örsundaån) samt ett avrinningsområde i Finland och ett avrinningsområde i Lettland inom projektet WATERDRIVE (<https://waterguide.online/nutrient-loss>). Som det redan nämnts, erosionsriskkartor har skalats upp och beräknats för södra halvan av Sverige och täcker därmed mer än 90% av Sveriges åkermark. Under 2022 ska även våtmarksmodelleringen skalas upp för att täcka hela Sverige.

Mätningarna med sensorer och med de metoder för installation som vi tagit fram för lett till mätningar på fler platser. Vi har startat nya mätningar med samma utrustning på uppdrag av Havs och vattenmyndigheten samt Mälarens vattenvårdsförbund. Vi har också bidragit med rådgivning till Värmlands och Jämtlands länsstyrelser som mäter pH i sura vattendrag. Vidare har vi blivit inbjudna att delta i Life och Horizon ansökningar om sensorer tack vare arbetet inom Rich Waters.

Ett av Horizon projekten (Nordbalt- Ecosafe) beviljades. Där deltar vi bl a i ett delprojekt med att använda sensorer i miljöövervakningen tillsammans med flera andra länder. Inom Nordbalt-Ecosafe arbetar vi också med klassificering av åtgärder mot näringsläckage och hur de inverkar på andra ekosystemtjänster. Syftet är att lära mellan länderna om vilka åtgärder som används och hur de fungerar men också vilka styrmedel länderna använder för att öka genomförandet.

Havs- och vattenmyndigheten utvecklar nu ett IT-baserat stödsystem som syftar till att åtgärdsarbetet ska kunna följas upp, inte bara vilka resurser som fördelats utan också om genomförda åtgärder har fått den förväntade effekten på miljön. Här har SLU bidragit genom att ta fram underlag för hur dokumentation ska ske vid ansökan om LOVA-stöd för strukturkalkning och våtmarker. Vi har också tagit fram beräkningssystem för uppföljning av effekten av de åtgärder som har gjorts med stöd av LOVA.

Vi för nu dialog med Havs- och vattenmyndigheten om hur underlaget till Åtgärds katalogen kan inkluderas i deras stödsystem för åtgärder.

5 Kommunikation och resultatspridning

5.1 Kommunikationsstrategi

Målet har främst varit att ta fram användarvänliga miljöer för att presentera kartunderlag och sensordata. För beslutsstödsystemet var strategin ursprungligen att ta fram egna webbsidor och undervisningsmaterial, men eftersom Havs och vattenmyndigheten beslutade för att bygga upp ett nationellt system för stöd och rådgivning till åtgärdsarbete, riktades vårt arbete istället in på att leverera vetenskapligt grundat underlag till det.

Som forskare har vi även publicerat våra resultat från vetenskapligt och presenterat dem på vetenskapliga konferenser och då framhållit värdet av långvariga och nära samarbeten med avnämare på olika nivåer.

Grundidén i vår kommunikationsstrategi när det gäller identifieringen av hotspots och näringsämnesförluster var att göra alla modellerade resultat tillgängliga till alla och utan några krav att användarna ska ha GIS-kompetens. Således samlades alla resultat och presenterats i form av en ArcGIS StoryMap (<https://arcg.is/1HC001>). Norrström StoryMap visas som en interaktiv webbplats, där man hittar både data och visualiseringar av lokala förhållanden. Där finns kartor och data för Mälaren och Hjälmaren och ett antal mindre sjöar (Norrströms huvudavrinningsområde, 22 650 km²). Man kan själv zooma in på det område/enskilt fält som man själv är intresserad av. Till varje karta/modellering finns en kort beskrivning och förslag på hur materialet kan användas för att diskutera och planera åtgärder – till exempel tillsammans med markägare. Med hjälp av kartorna kan man:

- Synliggöra vattenvägar (diken, dränering, avledning)
- Bedöma risker för ytavrinning och erosion
- Ta del av beräknade transporten av näringsämnen i landskapet
- Ta del av beräknade våtmarkers potential för att minska övergödningen
- Identifiera områden som riskerar att drabbas av översvämningar

Själva StoryMap lanserades i samband med Mälarseminariet 2022 då det gjordes en presentation och länk delades till deltagarna. För att sprida information om Norrström StoryMap utfördes en rad aktiviteter som presentationer på inspirationsdagarna i Enköping och Västerås, presentation på Uppsala kommun, samt även vetenskaplig poster presentation på Catchment Science Conference in Wexford, Ireland. Verktuget presenterades även på egen RichWaters hemsida men också på ett SLU Värt att veta seminarium. Slutligen uppmärksammades StoryMap av SVTs lokala nyheter i Västmanland.

För sensordatan var ursprungligen tanken att tillgängliggöra sensordata i realtid. Under projektets gång drog vi slutsatsen att värdet av det är så stort. Istället tog vi fram mallar för stationsvisa årsrapporter som sammanfattar och kommenterar resultaten. Vi har också valt ut värdefulla exempel på sensordata som använts i

presentationer inom projektet och undervisningen av studenter på SLU för att förstå hur näringsämnen transporteras till vattendragen.

Vi har även använt resultaten från projektet i examensarbeten på olika nivåer vilket bidragit till att sprida kunskapen om projektet. Examensarbetarna har även gett värdefulla bidrag till utvärderingen av resultaten.

För åtgärds katalogen var strategin att främst kommunicera direkt med intressenter för att tillsammans med dem skapa ett underlag som de har direkt nytta av. De har skett genom att delta och presentera vid en mängd möten inom Sverige men även internationellt.

5.2 Kommunikationsaktiviteter

- Skyltar med information om projektet sattes upp i anslutning till sensorerna.
- Workshops med deltagare inom Rich Waters
- Presentera projektet på konferenser, seminarier och olika typer av möten utanför Rich Waters.
- Examensarbetare kopplat till projektet
- Föreläsning baserat på erfarenheter från projektet

Länkar till exempel på konferenser och andra möten

<https://www.svt.se/nyheter/lokalt/vastmanland/nytt-kartverktyg-kan-hjalpa-skapandet-av-fler-vatmarker>

https://play.slu.se/media/V%C3%A4rta+att+veta+R%C3%A4tt+%C3%A5tg%C3%A4rd+p%C3%A5+r%C3%A4tt+plats+%E2%80%93+fr%C3%A5n+%28skriv%29+bord+till+jord/0_cv1tatb9/436914

<https://www.slu.se/institutioner/vatten-miljo/forskning/forskningsprojekt/fokus-pa-malaren/formular/program-malarseminarium-2022-dag-1/>

<https://www.richwaters.se/events/inspirationsdag-med-fokus-pa-verktyg-for-atgarder-i-jordbruket/>

<https://www.richwaters.se/ratt-atgard-pa-ratt-plats-kartor-och-modeller-ger-stod-i-atgardsarbetet/>

<https://link.springer.com/article/10.1007/s13280-020-01349-1>

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479722018989>

https://www.teagasc.ie/media/website/environment/climate-change/water-quality/acp/Abstracts_book.pdf (sida 101)

<https://jordbruksverket.se/stod/jordbruk-tradgard-och-rennaring/jordbruksmark/skyddszoner>

Behovet av kunskapsdelning om åtgärders funktion och effekt har kommunicerats i många olika typer av möten, exempelvis vid: inspirationsdagar för lokala

åtgärdssamordnare inom Havs- och vattenmyndighetens LEVA-projekt; Havsmiljöinstitutets seminarium om åtgärdsuppföljning; Hydrotekniska sällskapets vattendag; Miljöövervakningsdagarna i Uppsala; seminarium om behov av kompetenscentrum för vattenvårdsåtgärder; vattenråd i Örsundaåns avrinningsområde; Heby kommuns vattenkonferens; Landsbygdsnätverket; partnerskap Alnarp seminarium och workshop; Agronod seminarier om kolinlagring och biologisk mångfald; Landuse and Water quality conference Maastricht; Catchment Science Conference Wexford, Ireland; Nordbalt-Ecosafe partner möten.

5.3 Resultat av kommunikationsaktiviteter

Våra resultat och budskap har nått till lokala massmedia:

(<https://www.svt.se/nyheter/lokalt/vastmanland/nytt-kartverktyg-kan-hjalpa-skapandet-av-fler-vatmarker>) och våra egna målgrupper som t ex medlemmar i Mälarens vattenvårdsförbund (<https://www.slu.se/institutioner/vattenmiljo/forskning/forskningsprojekt/fokus-pa-malaren/formular/program-malarseminarium-2022-dag-1/>) men används också av de nationella myndigheter (Jordbruksverket (<https://jordbruksverket.se/stod/jordbruk-tradgard-och-rennaring/jordbruksmark/skyddszoner>) som ett underlag vid ansökningar och planeringen av åtgärdsarbetet. Vi har också nått andra forskare en annan viktig målgrupp genom både de vetenskapliga artiklar (<https://link.springer.com/article/10.1007/s13280-020-01349-1>; ; <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479722018989>) och presentationer och postrar på vetenskapliga konferenser (https://www.luwig2022.nl/wp-content/uploads/2022/12/LuWQ2022_Volume-of-Abstracts_web_POST-CONFERENCE_UPDATE_20221012_v2.pdf (sida 105); https://www.teagasc.ie/media/website/environment/climate-change/water-quality/acp/Abstracts_book.pdf (sida 101). Dessutom har vi försökt sprida information både genom Rich Waters hemsida (<https://www.richwaters.se/events/inspirationsdag-med-fokus-pa-verktyg-for-atgarder-i-jordbruket/>; <https://www.richwaters.se/ratt-atgard-pa-ratt-plats-kartor-och-modeller-ger-stod-i-atgardsarbetet/>) och via SLU:s egna kommunikationskanaler (https://play.slu.se/media/V%C3%A4rta+att+vetaA+R%C3%A4tta+%C3%A5tg%C3%A4rd+p%C3%A5+r%C3%A4tta+plats+%E2%80%93+fr%C3%A5n+%28skriv%29+bord+till+jord/0_cv1tatb9/436914). Sedan november 2022 när StoryMap för Mälaren lanserades har sidan besökts nästan 5000 gånger.

Data för projektet har använts och utvärderats i 6 examensarbeten. Erfarenheterna i projektet har resulterat i att en föreläsning numera ingår som ordinarie moment i en kursen Miljöanalys (MX0159) på kandidatnivå.

5.4 Lärdomar från kommunikationsarbetet

Vi har som forskare fått goda möjligheter att utveckla vår förmåga att kommunicera vår kunskap och våra resultat till många olika typer av avnämare. Projektets längd och det stora antalet olika partners har varit särskilt betydelsefullt då det gjort att vi lärt känna personer som har nytta av vårt arbete. Det har i flera fall också gett värdefull input till att vidareutveckla våra verktyg och nya forskningsfrågor som baseras på avnämarnas behov.

6 Fortsättning/After-LIFE

Målsättningen är att de beslutstödsverktyg vi tar fram kommer att kunna användas inom vattenförvaltningen för ge bättre underlag till beslut om åtgärder mot övergödning inom jordbruket samt även bidra till en bättre samsyn mellan olika aktörer om vad som är rätt åtgärder.

Som nämnt ovan, erosionskartan används redan i dag när lantbrukarna ansöker om vissa jordbruksåtgärder för att minska näringsämnesförluster, t e x anpassade skyddszoner (<https://jordbruksverket.se/stod/jordbruk-tradgard-och-rennaring/jordbruksmark/skyddszoner>). Det pågår diskussioner med Jordbruksverket om att uppdatera erosionskartan med nya höjddata, jordartskarta och eventuellt utöka resultaten för att inkludera riskområden för stående vatten. Inom ett forskningsprojekt (PuddleJump) vidareutvecklar vi vår översvämningsmodell för att uppskatta landskapets möjligheter att lagra vatten, framförallt i uppströms skogsområden för att på så sätt undvika översvämnningar av åkermarken.

I projektet har vi fått erfarenheter av mätningar med sensorer i vattendrag. Det gäller både praktiska aspekter av hur man installerar och sköter driften av utrustningen, men också hur man kvalitetssäkrar och utvärderar data. Detta tar vi med oss i det fortsatta arbetet med sensorer inom den nationella miljöövervakningen. En del av de sensorer som köpts in för projektet kommer flyttas till nya lokaler inom den nationella miljöövervakningen och en del kommer fortsatt vara kvar på samma lokaler och ingå i andra program.

I projektet Nordbalt Ecosafe har arbetet med sensorer fortsatt och utvecklats vidare. Inom projektet har en enkätundersökning, med kompletterande intervjuer utförts för att undersöka intressenters behov och förväntningar på sensorer, detta arbete har inkluderats i ett policy brief och kommer inkluderas i en kommande artikel. Vidare har ett Living Lab skapats, där interaktion med närboende och intressenter kombinerats med sensordata som presenteras i realtid. Andra aktuella frågor är exempelvis, hur sensorer kan användas för att stötta statusklassificering enligt vattendirektivet och vilka osäkerheter som är acceptabla vid exempelvis belastningsberäkningar ur ett intressentperspektiv.

Inom uppdrag till myndigheterna fortsätter dialogen om hur åtgärders effekt ska bedömas, hur vi ökar kunskapen om åtgärder och hur denna kunskap ska delas. Jordbrukets inverkan på miljön berör idag många myndigheter och här vill vi fortsatt verka för ökar utbyte och samverkan mellan myndigheterna och organisationer. Idag behövs också en helhetssyn på åtgärdsarbetet där hållbarhet i ett förändrat klimat är det övergripande målet. För det behövs att vi kan arbeta integrerat med alla tre aspekter på hållbarhet: ekologiskt, ekonomiskt och socialt.

7 Referenser

- Ahlgren, J., F. Djodjic and S. Löfgren. 2011. Åtgärder för att förbättra fosforretention i öppna diken i riskområden i jordbrukslandskapet runt Östersjön - en kunskapssammanställning. BalticSea2020, ,
- Aronsson, H., K. Berglund, F. Djodjic, A. Etana, P. Geranmayeh, H. Johnsson and I. Wesström. 2019. Effekter av åtgärder mot fosforförluster från jordbruksmark och åtgärdsutrymme Ekohydrologi 160.
- Beek, J., and van Riemsdijk, W.,H., 1979. Interaction of orthophosphate ions with soil. *Development in Soil Science*, Volume 5, Part B: 259-284. [https://doi.org/10.1016/S0166-2481\(08\)70663-9](https://doi.org/10.1016/S0166-2481(08)70663-9)
- Bergström, L., F. Djodjic, H. Kirchmann, I. Nilsson and B. Ulén. 2007. Phosphorus from farmland to water. Report Food 21, no. 4/2007. Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Sweden.,
- Blombäck, K and Lindsjö, A., 2015. Slutrapport H0970177. Förbättrade estimeringsrutiner för beräkning av fosfors löslighet och omsättning i svenska åkerjordar – utveckling av ett modellverktyg. Stiftelsen Svensk Lantbruksforskning
- Blombäck, K., Bolster, C.H., Lindsjö, A., Hesse, K., Linefur, H and Parvage, M. M., 2021. Comparing measures for determination of phosphorus saturation as a method to estimate dissolved P in soil solution. *Geoderma* 383.
- Braskerud, B.C., K.S. Tonderski, B. Wedding, R. Bakke, A.G.B. Blankenberg, B. Ulen and J. Koskiahio. 2005. Can constructed wetlands reduce the diffuse phosphorus loads to eutrophic water in cold temperate regions? *Journal of Environmental Quality* 34: 2145-2155.
- Breeuwsma, A. and Silva, S., 1992. Phosphorus fertilisation and environmental effects in The Netherlands and the Po region (Italy). DLO The Winand Staring Centre for Integrated Land, Soil and Water Research, Wageningen, The Netherlands. 38 pp.
- Börling, K., Otabbong, E. and Barberis, E., 2004. Soil variables for predicting potential phosphorus release in Swedish noncalcareous soils. *Journal of Environmental Quality* 33: 99-106.
- Djodjic, F., H. Elmquist and D. Collentine. 2018. Targeting critical source areas for phosphorus losses: Evaluation with soil testing, farmers' assessment and modelling. *Ambio* 47: 45-56. doi:10.1007/s13280-017-0935-5.
- Djodjic, F. and H. Markensten. 2019. From single fields to river basins: Identification of critical source areas for erosion and phosphorus losses at high resolution. *Ambio* 48: 1129-1142. doi:10.1007/s13280-018-1134-8.
- Djodjic, F. and A. Villa. 2015. Distributed, high-resolution modelling of critical source areas for erosion and phosphorus losses. *AMBIO* 44: 241-251. doi:10.1007/s13280-014-0618-4.
- Djodjic, F., P. Geranmayeh, and H. Markensten. 2020. Optimizing placement of constructed wetlands at landscape scale in order to reduce phosphorus losses. *Ambio* 49:1797–1807. 10.1007/s13280-020-01349-1.

Djodjic, F., P. Geranmayeh, D. Collentine, H. Markensten, and M. Futter. 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>.

Dorioz, J.M., D. Wang, J. Poulenard and D. Trevisan. 2006. The effect of grass buffer strips on phosphorus dynamics - A critical review and synthesis as a basis for application in agricultural landscapes in France. *Agriculture Ecosystems & Environment* 117: 4-21.

Eriksson, J., 2021. Tillståndet i svensk åkermark och gröda: data från 2011-2017. Ekohydrologi 168, Sveriges lantbruksuniversitet. Uppsala

Fredricsson, E. (2024). Utvärdering av fosfordammars utformning och placering, anlagda med LOVA bidrag. UPTec W 24037 Examensarbete 30 HP. Uppsala Universitet. <https://uu.diva-portal.org/smash/get/diva2:1873913/FULLTEXT01.pdf>

Fölster, J., E. E. Lannergård, S. Valley and M. Olshammar (2019). Sensorer för vattenkvalitet i miljöövervakning av vattendrag. Hur användbara är de i praktiken? SLI, IVL, Havs och vattenmyndigheten, Rich Waters.

Geranmayeh, P., H. Markensten, and F. Djodjic. 2024. Rådgivningsverktyg våtmarker - Optimerad placering och storlek för fosforretention. Sveriges lantbruksuniversitet, SLU. Institutionen för vatten och miljö. Rapport 2024:7.

Haglund, M. (2021). Högfrekventa mätningar av turbiditet som indirekt mätning av totalfosfor i sju vattendrag. Examensarbete 30 hp Juni 2021. Uppsala Universitet. UPTec W 21036.

Haygarth, P.M., L.M. Condron, A.L. Heathwaite, B.L. Turner and G.P. Harris. 2005. The phosphorus transfer continuum: Linking source to impact with an interdisciplinary and multi-scaled approach. *Science of the Total Environment* 344: 5-14.

Heeb, A., and M. Lovang. 2022. Alsens avrinningsområde – Att upprätta en vattenplan för att minska fosforförluster från jordbruk inom ett avrinningsområde och utvärdera arbetsmetoden. LIFE 15 IPE SE 015 Rich Waters Gårdsvisa vattenplaner Vattenplan Alsen 2021-12-23.

Hoffmann, C.C., C. Kjaergaard, J. Uusi-Kamppa, H.C.B. Hansen and B. Kronvang. 2009. Phosphorus Retention in Riparian Buffers: Review of Their Efficiency. *Journal of environmental quality* 38: 1942-1955. doi:10.2134/jeq2008.0087.

Johnsson, H., K. Mårtensson, A. Lindsjö, K. Persson, Y. Andrist Rangel and K. Blombäck. 2016. Leaching of nutrients from Swedish arable land - Calculations of normalized losses for nitrogen and phosphorus 2013. SMED. Rapport 189, Norrköping, Sweden (in Swedish).

Johnsson, H., K. Mårtensson, A. Lindsjö, K. Persson, Y. Andrist Rangel and K. Blombäck. 2019. Leaching of nutrients from Swedish arable land - Calculations of normalized losses for nitrogen and phosphorus 2016. SMED. Rapport 5, Norrköping, Sweden (in Swedish).

Jonsson, J. (2020). Turbiditet för indirekt mätning av metaller i vattendrag. Examensarbete 30 hp Uppsala universitet. UPTec 20029.

- Khiari, L., Parent, L. E., Pellerin, A., Alimi, A. R. A., Tremblay, C., Simard, R. R. and Fortin, J., 2000. An agri-environmental phosphorus saturation index for acid coarse-textured soils. *Journal of Environmental Quality* 29: 1561-1567.
- Kleinman, P. J. A., and Sharpley, A. N., 2002. Estimating soil phosphorus sorption saturation from Mehlich-3 data. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 33: 1825-1839.
- Kyllmar, K., Fölster, J., Aronsson, H., Berglund, K., Djodjic, F., Etana, A., Geranmayeh, P., Wesström, I. 2020. Åtgärder i jordbruket mot övergödning - förslag till system för uppföljning av effekt. Ekohydrologi 167. Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Soil and Environment. Uppsala, Sweden.
- Land, M., W. Granéli, A. Grimvall, C.C. Hoffmann, W.J. Mitsch, K.S. Tonderski and J.T.A. Verhoeven. 2016. How effective are created or restored freshwater wetlands for nitrogen and phosphorus removal? A systematic review. *Environmental Evidence* 5: 9. doi:10.1186/s13750-016-0060-0.
- Larsson, M.H., K. Persson, B. Ulen, A. Lindsjö and N.J. Jarvis. 2007. A dual porosity model to quantify phosphorus losses from macroporous soils. *Ecological Modelling* 205: 123-134. doi:10.1016/j.ecolmodel.2007.02.014.
- Linefur, H., Norberg, L., Andersson, S. and Blomberg, M., 2018a. Växtnäringsförluster från åkermark 2016/2017. Ekohydrologi, 156. Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Sweden. 24 pp.
- Linefur, H., Norberg, L., Kyllmar, K., Andersson, S. and Blomberg, M., 2018b. Växtnäringsförluster i små jordbruksdominerade avrinningsområden 2016/2017. Ekohydrologi, 155. Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Sweden. 61 pp.
- Maguire, R.O. and Sims, J.T., 2002. Soil testing to predict phosphorus leaching. *Journal of Environmental Quality* 31: 1601-1609.
- Mitas, L. and H. Mitsova. 1998. Distributed soil erosion simulation for effective erosion prevention. *Water Resources Research* 34: 505-516. doi:10.1029/97wr03347.
- Mitsova, H., J. Hofierka, M. Zlocha and L.R. Iverson. 1996. Modelling topographic potential for erosion and deposition using GIS. *International Journal of Geographical Information Systems* 10: 629-641.
- Mitsova, H., L. Mitsova and W.M. Brown. 2001. Multiscale Simulation of Land Use Impact on Soil Erosion and Deposition Patterns. . In: D. E. Stott, Mohtar, R.H. and Steinhardt, G.C., editor *Sustaining the Global Farm. Selected papers from the 10th international Soil Conservation Meeting*. West Lafayette, Ind, Purdue University.
- Nair, V.D., Portier, K.M., Graetz, D.A. and Walker, M.L., 2004. An environmental threshold for degree of phosphorus saturation in sandy soils. *Journal of Environmental Quality* 33: 107-113.
- Nawara, S., van Dael, T., Merckx, R., Amery, F., Elsen, A., Odeurs, W., Vandendriessche, H., McGrath, S., et al., 2017. A comparison of soil tests for available phosphorus in long-term field experiments in Europe. *European Journal of Soil Science* 68: 873-885.

- Ottander, O., (2019). Högfrekventa mätningar med sensorer för transportberäkning av totalfosfor i vattendrag. Självständigt arbete 15 hp. Biologi och Miljövetenskap SLU
- Sims, J.T., Maguire, R. O., Leytem, A. B., Gartley, K. L. and Pautler, M. C., 2002. Evaluation of Mehlich 3 as an agri-environmental soil phosphorus test for the Mid-Atlantic United States of America. *Soil Science Society of America Journal* 66: 2016-2032.
- Svenda, S. (2024). Kontinuerliga sensormätningar av turbiditet som metod för att kvantifiera transport och avskiljning av föroreningar i dagvatten. examensarbete på Civilingenjörsprogrammet i miljö- och vattenteknik, Uppsala universitet. UPTec W 24032.
- Ulen, B., 2006. A simplified risk assessment for losses of dissolved reactive phosphorus through drainage pipes from agricultural soils. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B- Soil and Plant Science* 56: 307-314.
- van der Nat, D., E. af Petersens, L. Halvarsson, B. Beck-Friis, M. Granath, Ö. H. and H. F. 2019. Underlag till lokalt åtgärdsprogram för Hågaån - Uppsala kommun. WRS.
- van Deursen, W.P.A. 1995. Geographical Information Systems and Dynamic Models. PhD.
- van der Zee, S. E. A. T. M., Fokink, G. J. and van Riemsdijk, W. H., 1987. A new technique for assessment of reversibly adsorbed phosphate. *Soil Science Society of America Journal* 51: 599-604.
- van Riemsdijk, W. H. & van der Linden, A. M. A., 1984. Phosphate sorption by soils. 2. Sorption measurement technique. *Soil Science Society of America Journal*, 48:541-544.
- Wang, Y.T., Zhang, T. Q., O'Halloran, I. P., Tan, C. S., Hu, Q.C. and Reid, D.K., 2012. Soil tests as risk indicators for leaching of dissolved phosphorus from agricultural soils in Ontario. *Soil Science Society of America Journal* 76: 220-229.
- Warren, S.D., H. Mitsova, M.G. Hohmann, S. Landsberger, F.Y. Iskander, T.S. Ruzicky and G.M. Senseman. 2005. Validation of a 3-D enhancement of the Universal Soil Loss Equation for prediction of soil erosion and sediment deposition. *CATENA* 64: 281-296. doi:10.1016/j.catena.2005.08.010.
- Weisner, S.E.B., K. Johannesson, G. Thiere, H. Svengren, P.M. Ehde and K.S. Tonderski. 2016. National Large-Scale Wetland Creation in Agricultural Areas—Potential versus Realized Effects on Nutrient Transports. *Water* 8: 544.
- Zehetner F, Wuenscher, R., Peticzka, R. and Unterfrauner, H., 2018. Correlation of extractable soil phosphorus (P) with plant P uptake: 14 extraction methods applied to 50 agricultural soils from Central Europe. *Plant Soil and Environment* 64: 192-201.

