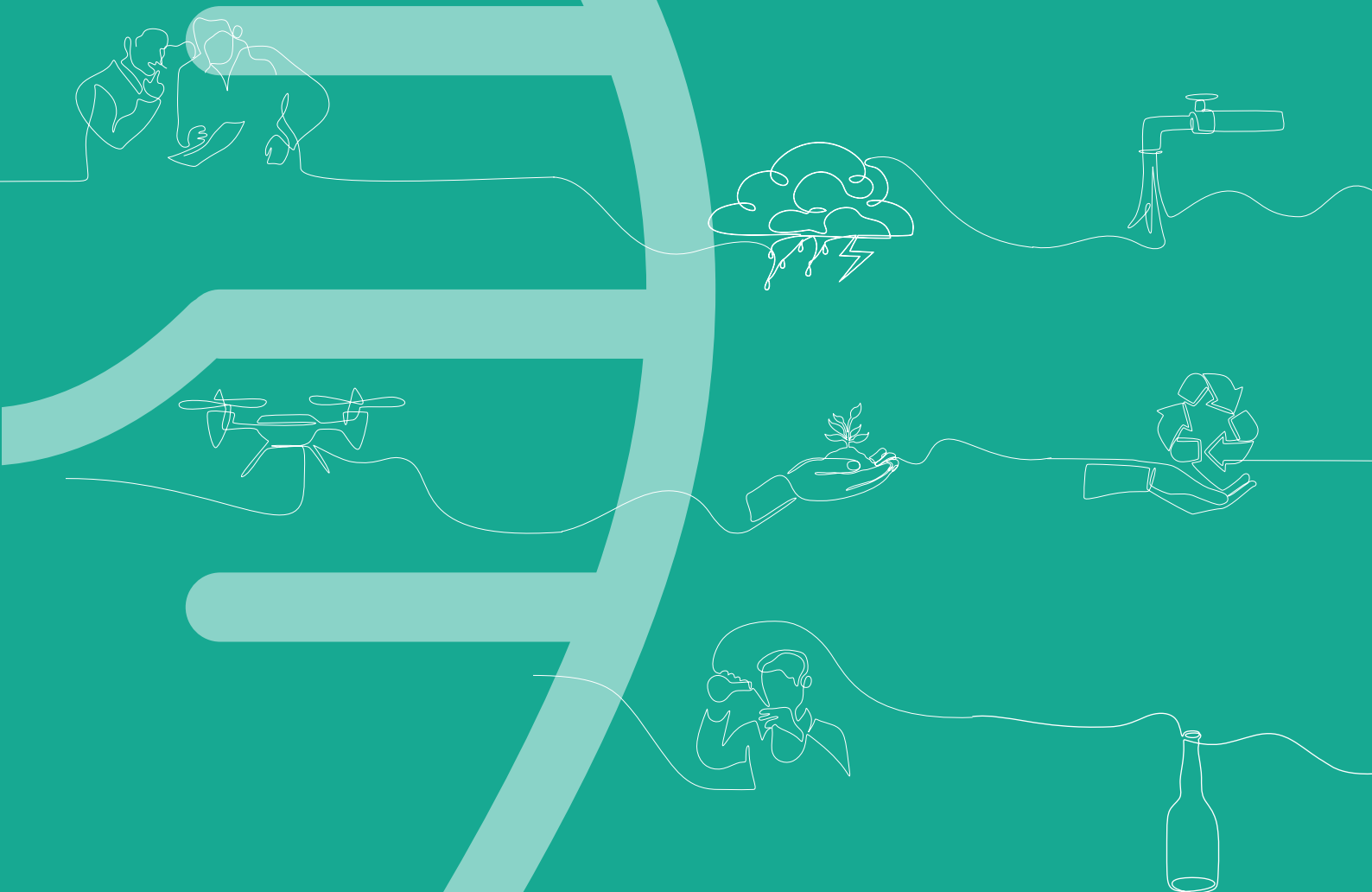




Utvärdering av fokusområden 2021–2025

Henrik Aspegren, Simon Bengtsson, Ellen Edefell,
David Gustavsson, Jesper König, Kenneth M. Persson

Sammanställning: Henrik Aspegren och Nina Steiner

Sweden Water Research

Utvärdering av Sweden Water Research fokusområden
2021-2025

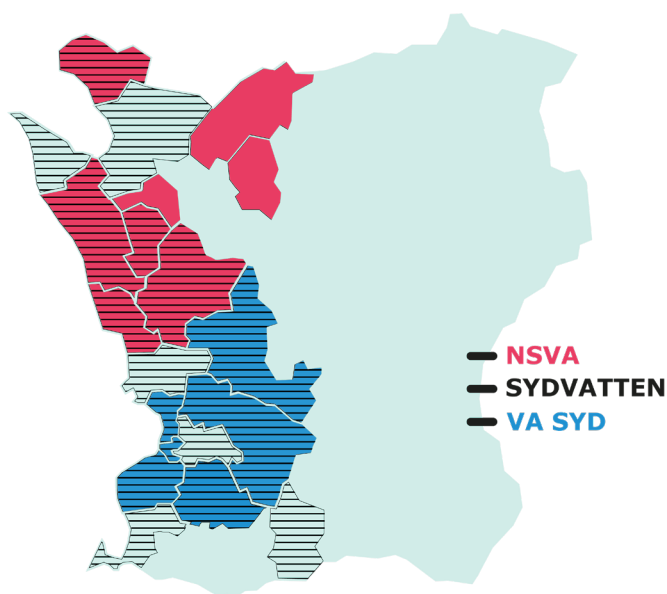
2025

Sammanställning: Henrik Aspegren och Nina Steiner

Författare: Henrik Aspegren, Simon Bengtsson,
Ellen Edefell, David Gustavsson, Jesper König,
Kenneth M. Persson

Detta är Sweden Water Research

Sweden Water Research bildades 2013 och är NSVA, Sydvatten och VA SYDs gemensamma forsknings-, utvecklings- och innovationsbolag. Vi bedriver forskning, utveckling och innovation för hållbar vattenanvändning. Tillsammans med våra ägare möter vi framtida utmaningar med fokus på vattenkvalitet, digital transformation och cirkulär ekonomi. Verksamheten finansieras genom att varje ägarbolag avsätter minst en procent av sin omsättning till Sweden Water Research. Genom våra ägare är vi förankrade i 20 kommuner i Skåne. Huvudkontoret finns i centrala Lund.



Förord

Under perioden 2021–2025 har Sweden Water Research bedrivit ett omfattande arbete inom forskning, utveckling och innovation för att möta framtidens vattenutmaningar. Genom våra åtta fokusområden har vi konkretiserat våra tre övergripande utmaningar: vattenkvalitet, digital transformation och cirkulär ekonomi. Denna rapport sammanfattar resultaten från dessa år, och ger en bild av både framsteg och kvarstående utmaningar.

Arbetet har genomförts i nära samverkan med våra ägarbolag NSVA, Sydvatten och VA SYD, samt med akademiska och industriella partners. Det har varit en period präglad av teknisk utveckling, metodutveckling och ett växande behov av att integrera samhällsvetenskapliga perspektiv i vattenfrågorna. Vi har sett hur klimatförändringar påverkar våra råvattentäkter, hur digitalisering kan förbättra drift och övervakning, och hur cirkulära lösningar kräver nya affärsmodeller och samarbetsformer.

Rapporten är ett resultat av ett gemensamt engagemang från många personer och organisationer. Jag vill rikta ett varmt tack till alla som bidragit med kunskap, tid och engagemang. Tillsammans har vi lagt en viktig grund för framtidens hållbara vattenanvändning.

Henrik Aspegren
VD, Sweden Water Research

Sammanfattning

De åtta fokusområdena och deras måluppfyllelse redovisas ingående i den här rapporten.

Fokusområdena kan sorteras in under Sweden Water Research tre övergripande utmaningar: vattenkvalitet, digital transformation och cirkulär ekonomi. Nedan sammanfattas de viktigaste resultaten.

- Vi har visat att kvaliteten i våra råvattentäkter kommer att förändras i takt med att klimatet och landskapet förändras.
 - Vi har tagit fram en metod för vattenbalansberäkningar för avrinningsområden som har potential att användas i vattenförvaltning med begränsad datainsamling.
 - Vi har kunskap om biostabilitet, där hela kedjan från råvattentäkt till kund har inkluderats.
 - Vi har kunskap om hur vi kan använda kompakta och resurssnåla processer när avloppsreningsverk behöver byggas ut för strängare utsläppskrav och ökad belastning. Implementering av nya processer har påbörjats i ägarsfären.
 - Vi har ökat kunskapen om dimensioneringskriterier och styrstrategier för reduktion av olika organiska mikroföroreningar.
 - Vi vet att orenat dagvatten är den största spridningsvägen för mikroplaster till recipient.
 - Vi har utvecklat metoder och metodik för rening och återvinning av regn- och dagvatten vid källan.
-
- Vi har god kännedom om digitalisering sett ur ett tekniskt perspektiv. Vi vet att det krävs ytterligare åtgärder, till exempel förändrad ansvarsfördelning gällande insamlade data, system och sensorer samt vilja att investera för att bryta interna datasilos för att fullt ut kunna utnyttja nya digitaliseringsverktyg.
 - Vi arbetar med att ta fram digitala verktyg för att utröna var i avrinningssystemen sensorer respektive fördröjningsanläggningar ska inrättas.
 - Vi vet att en betydande utmaning med onlineövervakning av speciellt badvatten är den omfattande infrastruktur som krävs.
-
- Vi vet att tekniska lösningar som möjliggör cirkularitet och en mer hållbar användning av vatten är utvecklade och finns tillgängliga, men att de inte används i någon större skala. Vi vet att vi också behöver fokusera på de samhällsvetenskapliga aspekterna av dessa utmaningar.

Innehåll

Detta är Sweden Water Research

Förord

Sammanfattning

Utvärdering av Sweden Water Research fokusområden 2021-20251

Introduktion 1

1. Innovation och ledarskap för cirkulära system.....4

Mål för fokusområdet..... 4

Projekt inom fokusområdet..... 5

2. Dricksvatten i ett förändrat klimat7

Mål inom fokusområdet..... 7

Projekt inom fokusområdet..... 8

3. Biologiskt stabila dricksvatten11

Mål för fokusområdet..... 11

Projekt inom fokusområdet..... 12

4. Det intelligenta ledningsnätet15

Mål för fokusområdet..... 15

Projekt inom fokusområdet..... 16

5. Resurssnål och miljövänlig avloppsrening.....18

Mål för fokusområdet..... 18

Projekt inom fokusområdet..... 19

6. Cirkulära avloppssystem22

Mål inom fokusområdet..... 22

Projekt inom fokusområdet..... 24

7. Rening från organiska mikroföroreningar i avlopp27

Mål för fokusområdet..... 27

Projekt inom fokusområdet..... 28

8. Föroreningar i vattenmiljön.....30

Mål inom fokusområdet..... 30

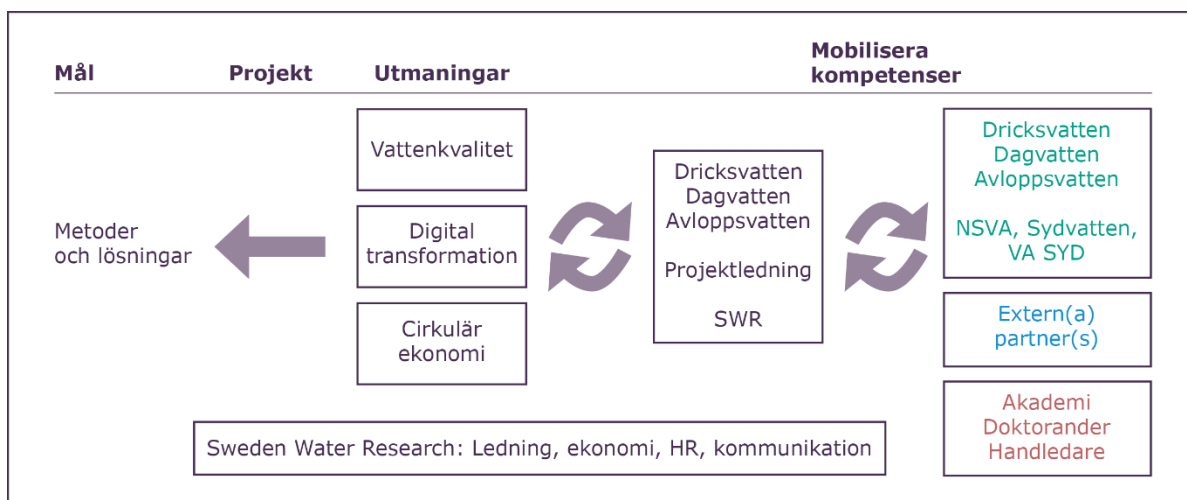
Projekt inom fokusområdet..... 32

Avslutande kommentar34

Utvärdering av Sweden Water Research fokusområden 2021-2025

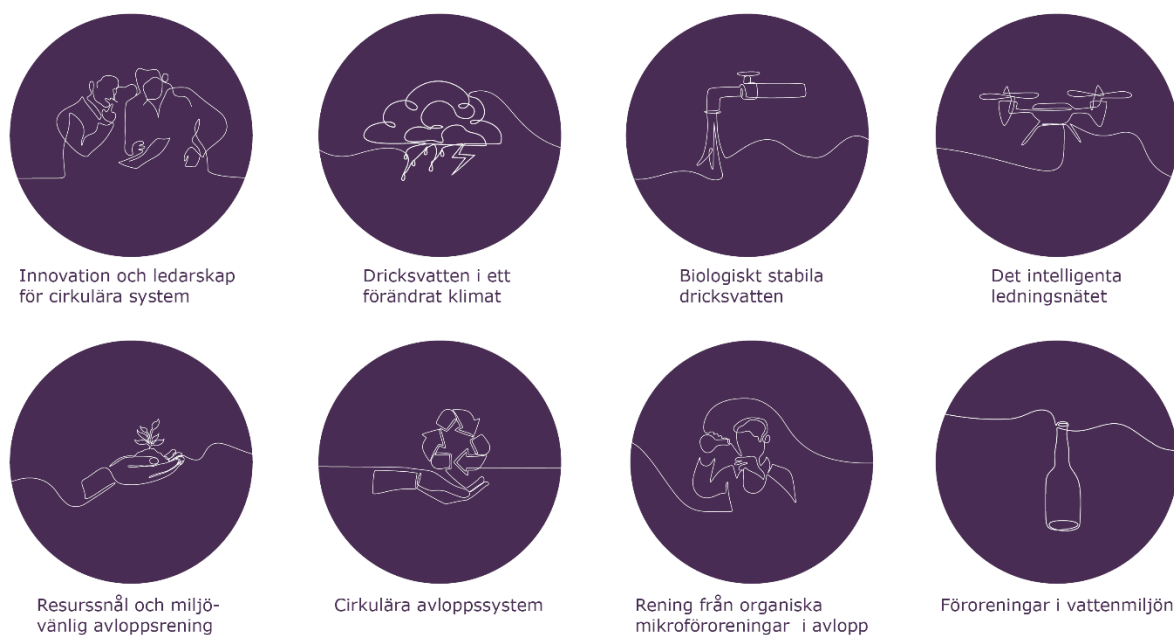
Introduktion

Sweden Water Research har sedan 2021 en fastställd arbetsmetodik för att lösa utmaningar som rör vattenkvalitet, digitalisering och cirkulär ekonomi. Vi arbetar projektbaserat med forskning, utveckling och innovation i öppna nätverk och samarbeten där våra utmaningar har brutits ned inom åtta målsatta fokusområden. För att bli framgångsrika behövs ett tydligt och systematiskt perspektiv som överskrider förvaltnings- och sektorsgränser. Det måste också vara långsiktigt och förutsägbart ur ett finansiellt perspektiv.



Figur 1. Modell över Sweden Water Research arbetsmetodik

Vi arbetar projektbaserat med forskning, utveckling och innovation (FUI) i öppna nätverk och samarbeten där våra utmaningar vattenkvalitet, digital transformation och cirkulär ekonomi har brutits ned inom åtta målsatta fokusområden. Dessa har haft en fyraårig programperiod, 2021-2025, och spänner över flera vattentjänster. Inom varje fokusområde finns både projekt som avslutats, projekt som påbörjats och projekt som pågått under hela perioden.



Figur 2. Sweden Water Research åtta fokusområden 2021.

Fokusområdena har utvecklats till att fungera som en grund för samordningsmöjligheter och för att bredda kunskapen och kompetensen inom enskilda områden. Det gäller bland annat utveckling av projekt, som är en del av våra ägarbolags Living Labs¹ och testbäddar², till exempel verksamheten vid Bolmens forskningsstation och forskningsprojekt i samarbete med RecoLab.



Figur 3. Att våga testa nytt – utveckling av Living Labs

I denna rapport sammanfattas arbete och måluppfyllelse inom de åtta fokusområdena för perioden juni 2021 till juni 2025. Varje fokusområde har haft en dedikerad fokusområdesledare som ansvarat för måluppföljning inom området. Personalförändringar har gjort att vissa fokusområden har fått nya ledare under åren. Det är de nu aktuella fokusområdesledarna som listas nedan.

¹ Living Labs definieras av <https://enoll.org/som> "open innovation ecosystems in real-life environments based on a systematic user co-creation approach that integrates research and innovation activities in communities and/or multi-stakeholder environments, placing citizens and/or end-users at the centre of the innovation process."

² En testbädd definieras av vinnova.se som "en fysisk eller virtuell miljö där företag, akademi och andra organisationer kan samverka vid utveckling, test och införande av nya produkter, tjänster, processer eller organisatoriska lösningar inom utvalda områden".

1. Innovation och ledarskap för cirkulära system – Henrik Aspegren
2. Dricksvatten i ett förändrat klimat – Kenneth M. Persson
3. Biologiskt stabila dricksvatten – Ellen Edefell
4. Det intelligenta ledningsnätet – Jesper König
5. Resurssnål och miljövänlig avloppsrening – Simon Bengtsson
6. Cirkulära avloppssystem – David Gustavsson
7. Rening från organiska mikroföroreningar i avlopp – Ellen Edefell
8. Föroreningar i vattenmiljön – Carina Svensson/Henrik Aspegren

Måluppfyllelse har bedömts utifrån en 3-gradig skala:

- **Ej uppnått:** Målet har inte uppnåtts, eller resultatet ligger långt under förväntan.
- **Delvis uppnått:** Målet har uppnåtts delvis, eller resultatet är nära men inte helt tillfredsställande.
- **Uppnått:** Målet har uppnåtts i sin helhet, eller resultatet är över förväntan.

1. Innovation och ledarskap för cirkulära system

Syftet med fokusområdet har varit att stärka förmågan att införa nya innovativa metoder och processer inom vattenbranschen. Här är Living Labs centrala för att förstärka en systematisk delning, inläring och replikering så att bästa praxis identifieras och accelereras.

Sweden Water Research och dess ägare har medverkat i forsknings-, utvecklings- och innovationsverksamhet (FUI) vid flera testplatser av olika slag:

- Forskningsstation Bolmen
- Slamspridning på åkermark – långsiktiga effekter på jord och gröda
- Källby vattenverkstad
- Testbädd Ellinge
- Ekostaden Augustenborg
- RecoLab
- REWAISE

Sweden Water Research var under 2021 drivande i att utveckla en metodik kring begreppet Living Lab i regionen och att visa hur enskilda testplatser kan utnyttjas i samverkan för att höja regionens gemensamma innovationsförmåga med bidrag från offentliga aktörer, näringsliv och FUI-världen.

En slutsats är att den kommunala vattenbranschen är hårt reglerad och detta i sin tur begränsar branschens förmåga att ta till sig nya innovationer. För att dra nytta av de tekniska landvinningarna behöver vi också titta på reglerande och institutionella hinder.

Mål för fokusområdet

2025 har vi skapat en modell för hur olika Living Labs i regionen kan utnyttjas i samverkan för att öka utvecklings- och innovationstakten inom vattenteknikområdet.

Målet är uppnått.

Sweden Water Research har inom ramen för sin verksamhet utvecklat en metodik för hur regionens utpekade testplatser kan utnyttjas i ett system för forskning. Ett exempel är Källby vattenverkstad som har utvecklats till en innovationshub där den fysiska platsen drivs vidare av VA SYD även efter projektets avslut. Det kommer fortsatt att innebära ett nära samarbete mellan inom ägarsfären för att fortsatt söka och driva projektet, tester och nätverk (se också mål 1 inom fokusområde 3).

Det finns idag både kunskap och specialisering på våra ägarbolag. Det betyder att kunskapen om hur olika lösningar och utvecklingsområden fungerar kan delas mellan ägarna och därmed utvecklas gemensamt. För att dra nytta av vad vi uppnått behöver vi nu också arbeta med reglerande och institutionella hinder.

2025 har vi medverkat till att etablera extern kännedom regionalt, nationellt och internationellt om regionens innovationsförmåga inom vattenteknikområdet.

Målet är uppnått.

Vetskapen om vår verksamhet har uppmärksammats både i Sverige och i Europa. Det har resulterat att vi deltar i olika samarbeten och FUI-nätverk på nationell och europeisk nivå.

Water Wise Societies är ett av fem Impact Innovation-program. Det är en nationell satsning av Vinnova, Formas och Energimyndigheten för att säkerställa att vatten finns i rätt mängd och kvalitet, och att det skapar goda förutsättningar för människor, miljö, ekosystem och industrier i Sverige. Sweden Water Research ingår i programrådet och stödjer programkontoret i att prioritera viktiga fokusområden.

Water4All Partnership är ett finansieringsprogram för vetenskaplig forskning i sötvatten. Syftet är att ta itu med vattenutmaningarna för att möta klimatförändringarna, bidra till att uppnå FN:s mål för hållbar utveckling och stärka EU:s konkurrenskraft och tillväxt. Det samfinansieras av Europeiska unionen inom ramen för Horisont Europa-programmet. Partnerskapets pågår sju år från och med 2022. Vi började arbeta aktivt med programmet våren 2025.

Vi har under våren 2025 inlett samarbete med *Water Valley Denmark* och med *Wetsus*, ett danskt respektive nederländskt initiativ. *Water Valley Denmark* är en allians med danska och internationella aktörer, som sträcker sig från vetenskaps- och forskningsinstitut till nystartade företag och globala leverantörsföretag. *Wetsus* är ett tvärvetenskapligt samarbete mellan företag och forskningsinstitut från hela Europa.

Projekt inom fokusområdet

För att förstå hur olika Living Lab-metodik kan utnyttjas i regional och europeisk samverkan för att stärka förmågan och kapaciteten till innovation hos våra ägare har vi utvecklat egen metodik i bland annat *REWAISE* (som också ingår i fokusområde 6 och 8). Det får stöd genom EU:s ramprogram Horisont 2020 för att bland annat etablera ett Living Lab i Skåne. Samarbetet består av 24 partners i 11 länder. Partnerskapet inkluderar, förutom VA-organisationer, också universitets- och forskningsinstitut samt små- och medelstora företag.

Den svenska delen av projektet ska undersöka hur vattenanvändningen kan göras smartare i Malmö, och Lund. Det gör vi genom nya, innovativa lösningar för fastighetsnära återanvändning av dagvatten och grävatten kombinerat med lokal odling med näring från urinsorterande toaletter. En central del av projektet är uppbyggnaden av ett Living Lab för smart vattenanvändning (Water Oriented Living Lab, WOLL), där avsikten är en miljö för stadsutveckling som långsiktigt integrerar lokala lösningar för en smartare användning av vattenresurser och energi.

Grunden för arbetet är en metodik som bygger på en utvecklingsdialog med fastighetsägare och har sin grund i Bo01-utställningen i som genomfördes i Malmö 2001. Arbetet med uppbyggnaden av ett

WOLL (*Water Wise Skåne*) sker inom projektet och de organisationer som är involverade är samma som i *REWAISE*. Partners i styrelsen är VA SYD, Malmö stad och Lunds kommun.

Water Wise Skåne är ännu inget officiellt namn. Arbetet baserades på ambitionen att sänka genomsnittlig daglig dricksvattenanvändning i testbäddsområdena i Lund och Malmö från 140 till 100 liter per person och dygn. Man ska också införa innovativa lokala lösningar för att hantera extremväder med kraftigt regn och översvämningar och värmeböljor med torra perioder.

Den första fasen av *Water Wise Skåne* har främst fokuserat på samarbetet i Lund och Malmö samt på tekniska tester. Utbytet har varit stort med andra delar av Europa, och särskilt i södra Sverige och Greater Copenhagen och det finns potential för en geografisk utvidgning. Inom Interreg-projektet *ÖReWise* har en samarbetsplattform implementerats för utveckling och implementering av lösningar inom klimatanpassning i Greater Copenhagen-regionen där systerstäderna längs Öresund (Köpenhamn – Malmö och Helsingborg – Helsingör) växelvis har ordförandeskapet.

I projektet *DISCO*, som är delfinansierat av Interreg North Sea, testas digitala lösningar med fokus på dricksvattenförbrukning. Ett nytt digitalt verktyg mäter hur mycket dricksvatten som går till olika användningsområden i lägenhetshushåll. Vattenförbrukningen registreras med hjälp av maskininlärning, uppgifterna kan sedan visualiseras för olika intressenter.

Projektet ska också undersöka hur realtidsvisualisering av vattenanvändningen ökar medvetenheten och påverkar konsumtionsmönster. Detta projekt har stark bäring på det strategiska inriktningsmål som har antagits för Sydsvattens kommuner – att minska hushållens vattenanvändning med 2 % per år till 2040. Det innebär 100 liter per person och dygn år 2040.

Att sätta pris på vatten är ett pilotprojekt 2024-2025. Projektet syftar till att bidra till ett cirkulärt förhållningssätt till vatten med utgångspunkt i samhällsvetenskaplig teori och metod. Hittills har vattenbranschens FUI-fokus varit främst på teknikutveckling, och idag finns tekniker som möjliggör en mer cirkulär användning av vatten. Men för att kunna implementera cirkulära tekniker på storskalig nivå behövs affärsmodeller som gör det möjligt att ta betalt för detta och som skapar incitament för hushåll att välja hållbara lösningar. Utifrån analysen av pilotstudiens resultat blir det tydligt att svensk VA-sektor är splittrad i frågan kring såväl pris på vatten som hur vi får till stånd en mer hållbar användning av vatten. Det är framför allt förekomsten av, respektive avsaknaden av, ekonomiska incitament som bromsar. VA-sektorns aktörer är inlåsta i befintligt system, och så länge ingen ställer krav på en omställning eller incitamenten ändras kommer utveckling inte att ske. Genom att fokusera på hållbara affärsmodeller kan forskningen bidra till långsiktig finansiering och möjliggöra samarbete mellan vattenbranschen och fastighetssektorn.

Misagh Mottaghi forskade om hur arkitektur och stadsdesign förhöll sig blågrön infrastruktur (BGS) stadsmiljöer. Hennes fallstudie är Ekostaden Augustenborg i Malmö. I sin doktorsavhandling *Carescape of Blue-Green Solutions in Everyday Life: Exploring the socio-materiality of a landscape technology* undersökte hon om och hur BGS hanterar och tar del av olika vardagssituationer, även om de är rumsligt utformade för extrema klimatförhållanden.

2. Dricksvatten i ett förändrat klimat

Fokusområdet är inriktat på att öka kunskapsmängden om vattenkvantitet och -kvalitet i de råvatten som behövs för att möta regionens behov av dricksvatten i framtiden. Därför har hydrologiska studier genomförts för Bolmen och inletts för Lagan. Vattenkemiska och -biologiska studier har inletts för Bolmen och Vombsjön. Detta fokusområde omfattar inte frågor relaterade till effekter av dricksvattenbesparing och vattenåtervinning.

Ringsjöverket får sitt vatten från Bolmen och har Ringsjön som reserv. Klimatförändringar förutspås inte påverka vattentillgången i Bolmen och utifrån nuvarande kunskap är ingen akut bristsituation förutspådd. Vombverket får idag sitt vatten från Vombsjön men kommer från år 2031 att få Bolmenvatten. Vombsjön kommer därefter att fungera som reserv. Det gör att Bolmens betydelse som regionens huvudråvattentäkt ökar.

Kombinationen av klimatpåverkan och mänsklig aktivitet, inklusive landskapsförändringar, ökar trycket på vatten- och markresurser. Dessa faktorer är komplexa och sammankopplade, vilket kan leda till negativa konsekvenser för både vattenkvalitet och ekosystem. Arbetet inom fokusområdet har visat att i takt med att klimatet och landskapet förändras kommer kvaliteten i våra råvattentäkter att förändras. Det innebär ett långsiktigt behov av en kontinuerlig miljöövervakning och utveckling av samverkansformer med markägare och övriga intressenter kring våra råvattentäkter, inte minst Bolmen. Den långsiktiga miljöövervakning som bedrivs vid Forskningsstation Bolmen, och som ingår i partnerskapet med Swedish Infrastructure for Ecosystem Science (SITES), kommer från och med 2026 i sin helhet att övergå från projektform till att vara en del av den kontinuerliga driften på Sydvatten.

För att utveckla metodik, nätverk och samarbetsmöjligheter inom området har samarbeten genomförts med bland andra Lunds universitet, Sveriges lantbruksuniversitet, Högskolan i Halmstad, Chalmers tekniska högskola och Uppsala universitet.

Mål inom fokusområdet

2025 har vi klarlagt hur de olika råvattnen som används vid dricksvattenförsörjning kan komma att förändras när klimatet ändras.

Målet är delvis uppnått.

Utifrån dagens kunskap vet vi att effekten av klimatförändringar inte helt kan förutses och det finns därmed ett ökat behov av miljöövervakning av de råvatten som används för dricksvattenförsörjning, både vad gäller kvalitet och kvantitet för att ha beredskap och snabbare kunna göra omställningar till nya förutsättningar när så behövs. Kunskapsläget vad avser råvattnen i Bolmen och Vombsjön är gott, medan motsvarande förståelse avseende Alnarpsströmmen och Ringsjön och är väsentligt lägre.

2025 har vi klarlagt vilken vattenrening som behövs för att klara beredningen av dricksvatten när klimatet ändras.

Målet är uppnått.

Beredningen kommer även framgent att baseras på de reningssteg som används på Vombverket och Ringsjöverket, det vill säga kemisk fällning, snabbfiltrering, långsamfiltrering och desinfektion på Ringsjöverket, respektive filtrering, konstgjord infiltration, järn- och manganoxidation av uppumpat grundvatten, samt desinfektion på Vombverket. För närvarande är förekomsten av persistenta organiska föreningar i råvattnen låg, vilket gör att aktuella beredningssteg är tillräckliga för tillfredsställande beredning.

2025 har vi bestämt hur distributionen av dricksvatten påverkas av ett förändrat klimat.

Målet är uppnått.

Med ökande vattentemperaturer i ledningsnäten på grund av stigande råvattentemperaturer kommer den mikrobiella aktiviteten i ledningsnäten att öka. Behovet av beredningssteg som ökar den biologiska stabiliteten kan framöver komma att öka, men för närvarande bedöms de biologiska reningsstegen som är i bruk på vattenverken att räcka till även för ökande vattentemperaturer. Den biologiska aktiviteten i reningsstegen ökar också med stigande vattentemperaturer, så de organiska fraktioner som kan leda till mikrobiell tillväxt i ledningsnäten kommer sannolikt att kunna brytas ned mikrobiellt i vattenverken också framöver.

Projekt inom fokusområdet

Vi medverkar i och delfinansierar Svenskt Vattens nationella kluster för dricksvattenforskning, DRICKS, som leds av Chalmers. Det samlade finansiella stödet under programperioden 2022-2024 delfinansierade forskningsledare inom områdena Säker vattentillgång, Framtidens vattenverk, Hållbar distribution samt Säker Vattenkvalitet.

Vi har även drivit eller deltagit i ett flertal projekt med lokal förankring. Clemens Klante studerade *Inverkan av hydrodynamiska processer på brunifieringen av Bolmen* i sitt industridoktorandprojekt. Sjöar och vattendrag har blivit brunare på grund av organiskt material och järn som lakas ut från marken, vilket påverkar vattenreningsverken. Brunifieringen kan bero på minskade svavelutsläpp, förändrad markanvändning och säsongsvariationer. Klimatförändringar och förändrade nederbördsmonster, särskilt ökningarna i ytavrinning och markanvändning, är andra viktiga faktorer som påverkar brunifieringsprocessen. Målet var att förbättra förståelsen av brunifiering och kopplingen till de hydrodynamiska processer i Bolmen.

Inom projektet *Klimatförändringar Bolmen* undersökte Anna Borgström i sitt doktorandarbete hur våtmarker kan minska brunifieringen av vattendrag och sjöar. Utifrån fältstudier vid nio våtmarker i södra Sverige konstaterades att förmågan att avskilja vattenfärg, fosfor, kväve och organiskt kol

varierade mycket mellan våtmarkerna. Resultaten visar att markanvändning och vegetationstyp har stor påverkan på vattnets kvalitet i våtmarker och avrinningsområden.

Emma Enströms industridoktorandprojekt *Vattenförvaltningspolicy för samarbete i avrinningsområden* handlar om att undersöka utmaningar och möjligheter inom svensk vattenförvaltning, med fokus på att säkra vattenresurser i ett föränderligt klimat. Projektet inkluderar kartläggning av aktörer, analys av styrmedel och studier av både svenska och internationella exempel.

Fosfordynamik i Vombsjön är Anna Södermans industridoktorandprojekt. Det handlar om att förstå och hantera övergödningen i Vombsjön, en viktig källa för dricksvatten för omkring 25 % av Skånes befolkning. Sjön har drabbats av eutrofiering, vilket leder till kraftiga algbloomningar och höga nivåer av cyanobakterier, särskilt under sensommaren och hösten. Den höga näringsbelastningen, framförallt av fosfor, kommer delvis från jordbruket i området, men även sedimenten i sjön innehåller stora mängder fosfor som kan frigöras och bidra till den interna belastningen. Trots att de externa utsläppen av näringsämnen har minskat, kvarstår problemet med den interna belastningen, som kan förvärras av klimatförändringar. Eftersom algbloomningarna kan försämra produktionen av dricksvatten och hota vattenkvaliteten är det avgörande att öka förståelsen för fosfordynamiken i sjön och att utvärdera olika åtgärders effektivitet mot både intern och extern belastning.

Framtida vattenhantering för Lagan är August Bjerkéns industridoktorandprojekt. Hans projekt utvecklar en metod för att bättre kvantifiera och presentera grund- och ytvatten (i en vattenbalans), samt utforskar hur ett framtida samarbete mellan myndigheter kan organiseras för att skapa tydligare ansvar och mer hållbar förvaltning. Målet är att skapa bättre beslutsunderlag och stärka skyddet av vattenresurserna för framtiden.

Genom att använda öppna data från svenska myndigheter och visualisera dem i ett GIS-program kunde vattenbudgeten för Lagans avrinningsområde fastställas. GIS-verktyg gör det möjligt att skapa interaktiva kartor för att tydligt visa områdets vattenförhållanden. Dessutom minskar behovet av extra mätningar, vilket ökar transparensen och underlättar för vattenförvaltare att ta informerade beslut. August har också tagit fram en enkel och skalbar metod för att bedöma markvattenförhållanden utan behov av omfattande data. Metoden kan förbättra vattenbalansberäkningar samt hjälpa till vid bedömning av översvämning och torka, och har stor potential att användas i vattenförvaltning med begränsad datainsamling.

Projektet *Muråns dränering och ekologi* genomförs vid Högskolan i Halmstad som ett doktorandprojekt av Jasmin Borgert. Flera studier utförda vid Bolmens forskningsstation indikerar att Muråns lokala påverkan i den sydvästra sjön Bolmen resulterar i betydande brunfärgning av Bolmens vatten, som används som dricksvatten efter rening vid Ringsjöverkets anläggning. Detta har en betydande miljöpåverkan. Värdet av restaurerade våtmarker för att fånga brunfärgning innan humusämnen når sjön kommer att undersökas särskilt.

Projektet *Blue Transition*, som är delfinansierat av Interreg North Sea, syftar till att skapa en systemisk förändring, genom att integrera vatten- och markhantering för att möta klimatförändringarnas utmaningar. Projektets svenska del leds av Lunds universitet och syftar till att öka förståelsen för hydrogeologiska kopplingar mellan Vombområdets akvifärer, våtmarker och sjöar och att förbättra processerna för konstgjord infiltration och grundvattenuttag vid Vombverket. Doktoranden Ankita Girish Prayag vid Lunds universitet medverkar i projektet.

3. Biologiskt stabila dricksvatten

Inom fokusområdet har forsknings- och utvecklingsprojekt kring vattenkvalitet i allmänhet och biostabilitet i synnerhet genomförts. Hela kedjan från råvattentäkt till kund har inkluderats i riktade projekt samt testbäddsverksamhet i syfte att 1) anamma ny teknik för mätning av vattenkvalitet, 2) understödja forskning för en djupare förståelse av begreppet biostabilitet och 3) få förståelse för olika beredningsteknikers samt ledningsnätets inverkan på biostabiliteten. En av styrkorna har varit ett nära samarbete mellan forskare, ingenjörer, drift- och laboratoriepersonal.

Vi har utvecklat erfarenheter av snabba mikrobiella analysmetoder som komplement till, eller i framtiden ersättning av, nuvarande metoder, som baseras på odling på näringsplattor och som tar längre tid. Några tekniker är dessutom implementerade på ledningsnät och laboratorium.

Personalomställningar med specialistkompetens har förändrat förutsättningarna för genomförandet av en del av projekten. Det har stärkt och breddat förutsättningarna att fortsätta driva utvecklingen, förståelsen och övervakningen av biologiskt stabila dricksvatten framåt i praktiken.

Mål för fokusområdet

2025 är vi en innovationshub för nya metoder för onlinemätning av dricks-vattenkvalitet.

Målet är uppnått.

Källby Vattenverkstad fas 2 byggdes upp som ett projekt där den fysiska platsen Källby vattenverkstad skapades, samarbeten mellan Sweden Water Research ägarbolag utvecklades och mycket bredare kontaktnät, nationella och internationella, etablerades. Erfarenheterna och arbetssätten från projektet kommer att vara till nytta för ägarbolagen under många år framöver då det har byggts upp unik kompetens och samarbeten. Källby vattenverkstad har utvecklats till en innovationshub där den fysiska platsen drivs vidare av VA SYD även efter projektets avslut. För att fortsätta arbetet med att utveckla analysmetoder agerar Sweden Water Research spindeln i nätet och håller ihop det gemensamma arbetet och de olika initiativen.

2025 mäter vi dricksvattenkvalitet online, data interagerar genom AI med vår hydrauliska realtidsmodell över distributionssystemet.

Målet är delvis uppnått.

Det finns realtidsmätning av utvalda kvalitetsparametrar, bland annat pH, konduktivitet och turbiditet samt onlinemätning av flödescytometri (FCM) på enstaka platser inom distributionssystemet. Hydrauliska modeller över distributionssystemen finns men ännu inte i realtid. Vi har dock lärt oss mycket och fokus har inom detta mål legat på dricksvattenanalysen. Parallellt har en modell för maskininlärning av bland annat FCM-resultat utvecklats för analys av badvattenkvalitet som på sikt kan anpassas för analys av dricksvatten.

Målet var ambitiöst formulerat och knyter ihop vattenkvalitet med systemövervakning. Det förutsätter stor utveckling inom flera områden, såsom sensorer, analysinstrument, modellering, datahantering och -bearbetning, maskininlärning och AI. Där finns fortsatt stora utmaningar och behov av lösningar. Datahantering är en tydlig knäckfråga för att lyckas. Både kvalitetsmätning och systemövervakning genererar redan idag stora mängder data och vi behöver ha tillgång till resurseffektiva och informationssäkra dataplattformar. Säkerhet är en aspekt som tydligt har intensifierats under de senaste åren och kommer att förbli en utmaning när FUI-verksamheten ska integreras i den operativa driften.

2025 har vi bidragit till ökad förståelse för vad biostabilitet innebär och hur det kan uppnås.

Målet är uppnått.

Flera år av kontinuerlig övervakning av dricksvattenkvalitet med FCM har skapat unika erfarenheter och förutsättningar att följa variationer av cellkoncentration i produktions- och distributionsanläggningar som ger en mer nyanserad och bredare bild av biostabiliteten i vattnet jämfört med dagens konventionella analysmetoder med odling på plattor. Projektet *Den mikrobiella bussresan* lade grunden för det fortsatta arbetet och interna kommunikationen. Idag har Sydvatten inkluderat FCM-analys i drift- och egenkontrollprover från ledningsnätet. VA SYD har börjat utvärdera vattenkvaliteten på Bulltofta vattenverk med FCM och båda organisationerna utreder hur analyserna kan skalas upp inom organisationen. Det återstår dock arbete med djupare förståelse för hur FCM-resultat kan tolkas och arbetsflöden för ansvarsfördelning och åtgärdsrutiner.

Projekt inom fokusområdet

Supermät punkten (2019–2022) och *Supermät punkterna* (2022–2023) hade som mål att ta fram koncept för onlinemätning av dricksvattenkvalitet. Initialt involverades branschkollegor och forskare för att kartlägga redan framtagna erfarenheter. Det satte riktningen tidigt och minskade risken att uppfinna hjulet på nytt. Projekten inkluderade test av olika instrument, bland annat partikelräknare och portabel flödescytometer, men även hydrauliska aspekter för placering av mätpunkter i ledningsnäten. Projekten skapade förutsättningar att utforska, omvärldsbevaka och skapa nätverk för att gemensamt med ägarsfären och andra svenska aktörer utveckla vad biologiskt stabila dricksvatten innebär. Projekten lade grunden för de andra projekten inom fokusområdet.

Den mikrobiella bussresan (2019–2021) var ett delprojekt inom *Rationell mikrobiologisk analys för distribution av stabil dricksvattenkvalitet* (2019–2021) som resulterade i en SVU-rapport 2022.

Kunskapen om biofilmens inverkan på dricksvattenkvaliteten, med särskilt fokus på distributionsstörningar, kvalitetsåtgärder och stillastående vatten ökade. Studier i Lund, Storstockholm och Varberg visade hur riktad FCM kan användas för att övervaka och förstå de processer som avgör dricksvattnets biostabilitet i ledningsnätet. Studierna i Lund undersökte biostabiliteten från Ringsjöverket till Flyinge och provtagningen anpassades efter den hydrauliska modellen. Resultaten visade att ett traditionellt cellrikt dricksvatten som bereds med långsamfilter

kan vara förvånansvärt biostabilt och motstå kvalitetsförändringar på utgående dricksvatten från vattenverket. Baserat på erfarenheterna i projektet rekommenderas dricksvattenproducenter att förutom att identifiera mikroorganismer som överskrider lagstiftarens gränsvärden, också mäta och tolka mängden mikroorganismer med alternativa analysmetoder, såsom FCM, på flera strategiskt givna platser utifrån trender och historiska referensvärden, i stället för att som idag begränsas av enstaka absoluta gränsvärden.

Säkra och snabba ledningsarbeten (2021) fokuserade på snabbare analysmetoder än dagens ”3-dygnsprover” för att korta tid för driftstörningar och minska vattenförluster och kostnader i samband med ledningsarbeten. Resultaten visade att FCM har stor potential som metod för att öka kunskapen kring biologiska processer under ledningsarbeten och i ledningsnätet generellt. Varken dagens ”3-dygnsprover” eller FCM är heltäckande eller perfekta och resultaten kan inte jämföras. Det finns stora möjligheter att utveckla FCM för kvalitetsövervakning av dricksvatten. Det kan vara mer relevant att förhålla sig till referensprov eller en baslinje än dagens förutbestämda gränsvärden.

Källby vattenverkstad fas 1 och 2 (2019–2024) utvecklades framgångsrikt till en testbäddsyta för analysinstrument för vattenkvalitet. Under åren skapades rutiner för hur vi tar dialog med produktutvecklare och arbetssätt för hur vi testar och utvärderar nya instrument. Källby vattenverkstad blev en naturlig startpunkt för en del av de instrument som senare har installerats på vattenverken och ledningsnäten. Tack vare projektet har NSVA, Sydvatten och VA SYD byggt upp egen unik kompetens och arbetssätt. Lärdomar är bland annat att samarbete över organisationer och kompetenser mellan Sweden Water Research ägarbolag är viktigt för framgång samt att driften är viktig att involvera tidigt om målet är att implementera nya mätinstrument i den dagliga driften. Det utvecklades också en plattform för samarbete om omvärldsbevakning och informationsutbyte mellan ägarna. Källby vattenverkstad blev startskottet för ett långsiktigt samarbete mellan Sydvatten och VA SYD kring dricksvattenkvalitet, samt för ett tydligare samarbete med de kollegor som jobbar med andra vattenslag, inte minst på NSVA och RecoLab. En direkt effekt är ett fortsatt projekt mellan RecoLab och företaget SpecImaging för utveckling av sensorer för vattenkvalitet för avlopp.

FCM är den teknik som har haft mest framgång inom ramen för *Källby vattenverkstad* och varit grunden i flera av de parallella projekten som har genomförts inom fokusområdet. Bactosense, online-FCM, är ett instrument som har testats i fält och i daglig drift inom Källby vattenverkstad och som idag finns inköpt och i daglig drift på både VA SYD och Sydvatten. Vidare har arbetet med FCM som teknik fått skjuts av manuella FCM-instrument på både VA SYDs och Sydvattens laboratorier. Arbetet med att utveckla användningen av FCM för dricksvattenkvalitetsövervakning fortgår och är långt ifrån fulländat. VA-bolagen arbetar aktivt med att ta fram nya sätt att hantera data från instrumenten, samt att använda resultaten i den dagliga driften.

Från analogt till digitalt i mikrobernas värld (2024–2025) har identifierat nödvändiga systemförändringar för att utveckla och implementera tekniker för mikrobiell kvalitetskontroll av vatten med bland annat realtidsövervakning. Samarbeten med myndigheter, forskningsinstitutioner och andra aktörer spelar en nyckelroll i att säkerställa en smidig övergång. Resultaten från projektet

betonar att införandet av ny teknik kräver en utökad förståelse och tolkning av analysresultat och en anpassning av organisationernas arbetssätt för att hantera nya datamängder. Genom att inkludera en bred aktörsgrupp i genomförbarhetsstudien har projektet banat väg för en övergång från pilotskala till reguljär användning genom relevanta fortsättningsprojekt.

4. Det intelligenta ledningsnätet

Syftet med fokusområdet har varit att se till att ny kunskap och nya metoder sprids till alla tre ägarna NSVA, Sydvatten och VA SYD. Grunden har varit det nära samarbete mellan utvecklingsingenjörer inom framför allt digitalisering och ledningsnät som under åren vuxit fram mellan ägarna. Samarbetet etablerades ”underifrån” och har utgjort en mötesplats för anställda hos ägarna. Sweden Water Research har bidragit med samordning och projektledning för denna primärt utvecklings- och innovationsinriktade verksamhet.

Mål för fokusområdet

2025 har vi påbörjat implementering av automatisk optimering för distribution av dricksvatten och uppsamling av spill- och dagvatten.

Målet är delvis uppnått.

Ett flertal projekt och försök har genomförts i både större och mindre skala inom Sweden Water Research ägarbolag. Där har i första steget varit optimering av olika system och i nästa steg automatisering och realtidsstyrning av systemen. System som Future City Flow (spillvatten) och Buntplanet (dricksvatten) har testats i avgränsade områden, alternativt har valda delar av systemen implementerats bredare. Utöver detta har ägarbolagen jobbat med att koppla ihop sina hydrauliska modeller för vidare systemoptimering samt förbättra förutsättningarna för att hantera stora kriser.

Många av aktiviteterna har resulterat i bättre optimering av systemen och detta arbete pågår fortfarande. När det kommer till att automatisera har det dock inte varit möjligt att inleda faktisk implementering på bred front. Tidsperioden har präglats av stora förändringar gällande organisationernas IT-infrastrukturer med förändrade krav och förutsättningar, bland annat det nationella säkerhetsläget, vilket har haft markant påverkan på målet.

2025 har vi skapat en förståelse för hur datainsamling, -kvalitet och -struktur kan driva arbetet med intelligent nyinvestering, reinvestering, drift och underhåll.

Målet är uppnått.

Förståelsen har under tidsperioden ökat markant. Tydligast har vi sett att det för att skörda digitaliseringens frukter krävs organisatoriska förändringar, ansvarsfördelning gällande insamlade data, system och sensorer samt vilja att investera för att bryta interna datasilos och oklar ansvarsfördelning. Frågan är inte löst men kunskapsnivån har ökat. Vår omvärldsbevakning på området bekräftar bilden – det är exempelvis noterbart hur internationella digitaliseringskonferenser inom VA i början av perioden primärt handlade om nya produkter och algoritmer för att idag till stor del handla om hur man behöver organisera sig för att nyttiggöra de nya tekniska möjligheterna. Önskan att förstå hur digitalisering kan driva på arbetet har ersatts med en ny önskan om att förstå hur man faktiskt behöver gå tillväga för att åstadkomma det.

2025 har vi utvecklat en digital testbädd som tillhandahålls för verksamhetsutveckling, produktutveckling, forskning och innovation.

Målet är inte uppnått.

Osäkerheten och de bedömda riskerna med att tillhandahålla data från VA-systemen till FUI-verksamhet har varit för stora för att driva detta arbete vidare. Ett projekt, *IoT och Dataanalys*, har genomförts för att praktiskt kunna tillhandahålla data även till en digital testbädd vilket har visat på att vi tekniskt sätt kan lösa detta men tidsmässigt sammanföll arbetet med försämringen av det nationella säkerhetsläget och skärpt syn på datasäkerhet i VA-branschen. Denna osäkerhet gör att pågående arbete fortfarande är i utvecklingsfasen och tills vidare pausat.

Projekt inom fokusområdet

Den snabba utvecklingen under 2010-talet då datorkapacitet och sensorer gick från att vara specialutrustning till vardagsutrustning gjorde att blickarna först riktades mot de dolda anläggningarna i VA-systemen – ledningarna, och närmare bestämt frågan om deras status och läckage. Ett av de första utvecklingsprojekten på ägarnas initiativ var *läcksökning med satellit* där en tjänst från företaget Utilis upphandlades av Sweden Water Research gemensamt för de tre ägarna. Genom analys av bilder från en markradarsatellit erhöles information om var vattenläckor sannolikt förekommer. Även om metoden visade sig fungera blev den viktigaste lärdomen att aktiv läcksökning behöver integreras i den reguljära verksamheten, och att många läckor hittas när man söker efter dem, oavsett metod. VA SYD var först ut att anställa dedikerade läcksökare och NSVA följde efter några år senare. Båda arbetar nu med aktiv läcksökning med hjälp av såväl digitala som konventionella metoder. I takt med att läckorna blir färre behöver alltmer sofistikerade metoder användas för att hitta de återstående, inte minst läckor på plastledningar är fortfarande svåra att lokalisera.

2020 påbörjades forskningsprogrammet *Mistra InfraMaint* som fokuserar på smart underhåll och tillgångsförvaltning av framför allt VA-infrastruktur. Under programmets första fas deltog VA SYD och NSVA som partners och anställde var sin industridoktorand med fokus på statusbedömning av dricksvattenledningar (NSVA) och avloppsledningar (VA SYD). NSVA avbröt sitt arbete efter ett år medan VA SYDs industridoktorand Martin Bjarke fortsatte. Han är knuten till delprojektet *Från gömda avloppsnät till full åtkomlighet för smarta beslut*. Målet för doktoranderna var att ta fram metoder och beräkningsmodeller som skulle styra var insatser för förbättring och förnyelse av ledningarna borde prioriteras. Det visade sig dock att problemställningens kärna handlade mer om hur man som VA-organisation skulle tillämpa nya metoder och modeller än att själv utveckla dem – efterhand hade alltför relevanta metoder nått marknaden och teknikfrågan kompletterades med den allt större organisationsfrågan.

I programmets andra fas från 2023 gick Sweden Water Research in med en egen industridoktorand, Sara Roth, som forskar om *Klimatanpassning av urbana dagvattensystem* med fokus på

klimateanpassning av dagvattenhanteringen och dess avrinning i det mycket flacka Landskrona. Sara beräknas disputerar 2028.

Idag ser vi hur avrinningen går till vid varje enskilt regn, om kapaciteten är tillräcklig eller om det svämmar över. Vi saknar dock mycket kunskap om hur regnet som orsakar en viss avrinning faktiskt såg ut, här är den allmänt tillgängliga väderdatan för lågupplöst. Därför pågår flera projekt kopplade till kortbandsradar som kan visa hur nederbörden såg ut lokalt, som orsakade utfallet vi ser på marken. NSVA och VA SYD är därför, genom Sweden Water Research, medlemmar i VeVa som är de danska VA-organisationernas väderradarförening. Radar, nederbörd och avrinning är även kopplat till de nystartade projekten *Opti-SENSE* och *Opti-SITE* som handlar om att ta reda på var i avrinningssystemen sensorer respektive fördröjningsanläggningar ska inrättas. Här introduceras ett paradigmskifte i synsättet på VA-anläggningarna där det gamla synsättet att se på ledningsnät och reningsverk som separata ersätts med ett synsätt där man ser på dem som en processindustri, där det som händer i ledningsnätet får konsekvenser på verken och vice versa.

Under hela perioden har Sweden Water Research bistått ägarna med samordning av vad som ytterst varit konkreta utvecklingsprojekt hos dem. Ett exempel är de olika inventeringar av nya innovativa lösningar på marknaden som Isle Utilities genomfört åt oss och som resulterat i att våra ägare snabbare vågat ta in och prova sådana. Systemet *Buntplanet* har till exempel utvärderats inom dricksvattendistributionen – ett system som samkör hydrauliska modeller med realtidsmätning av flöden för att kunna detektera läckor och segmentera ledningsnätet i zoner. Ett annat exempel är att Sweden Water Research samordnat studiebesök och nätverksträffar med andra VA-bolag i Europa och regelbundna träffar där medarbetare hos ägarna kunnat utbyta erfarenheter med varandra.

Under den andra halvan av perioden genomfördes två större utvecklingsprojekt i samarbete med framför allt NSVA. *Maskininlärning för minskat läckage i Örbyfältet* syftade till att demonstrera hur AI kunde bistå VA-verksamhet på ett konkret sätt i en specifik situation. Tillförsel och uttag av dricksvatten från Örbyfältet påverkar på ett komplext sätt hur stor del av vattnet som läcker ut i havet. Projektet kunde inte bara visa hur detta bäst bör göras utan kunde även bekräfta att de analoga metoder som tillämpats av driftspersonalen sedan tidigare var riktigt bra.

5. Resurssnål och miljövänlig avloppsrening

Detta fokusområde har syftat till att utveckla nya och vidareutveckla befintliga processer för avloppsvattenrening som leder till resurssnåla, miljövänliga, kompakta och robusta reningsverk. Här strävades det efter minsta möjliga behov av resurser i form av el, kemikalier, bassänger och maskinell utrustning, samtidigt som direkta emissioner av lustgas och metan minimeras för att begränsa klimatpåverkan.

Vi har ökat kunskapen om hur vi kan använda kompakta och resurssnåla processer när avloppsreningsverk behöver byggas ut för exempelvis strängare utsläppskrav och ökad belastning. Detta inkluderar förbehandling med filtrering och hydrolys av slam, och biologisk behandling med aerobt granulärt slam och rörliga bärare. Vi har lärt oss hur vi kan mäta lustgasutsläpp, som utgör en stor del av de direkta klimatpåverkande utsläppen från reningsverk, på ett bra sätt och styra processerna utifrån denna information. En digital tvilling har etablerats på ett reningsverk med målet att implementera modellprediktiv styrning som ett verktyg för att exempelvis kunna minska resursanvändning och lustgasutsläpp vid drift.

Mål för fokusområdet

2025 vet vi hur vi utnyttjar inkommande kol på bästa sätt.

Målet har uppnåtts.

Vi har byggt upp kunskap kring hur avloppsvatten bör karakteriseras och förbehandlas och hur detta påverkar den biologiska behandlingen. En process har utvecklats för hydrolys och fermentering av primärslam från förfiltrering och driftstrategier etablerats för att producera lättillgänglig intern kolkälla. På detta sätt kan kolkällan tillsättas när den behövs, och processen styrs mot en optimal energibalans där tillräckligt med organiskt material finns för kväve- och fosforavskiljning medan det som blir över kan nyttiggöras som biogas. Parallellt har vi etablerat praxis för hur avloppsvatten kan karakteriseras för att, genom att ta bättre hänsyn till sammansättningen vid design och drift, förbättra hanteringen av det organiska materialet. För att underlätta att nå energineutralitet har vi ökat kunskapen om hur elanvändningen vid luftning kan minskas genom övervakning och tillståndsbaserat underhåll.

2025 vet vi hur vi kan bygga ut med ett mycket litet ytbehov.

Målet har uppnåtts.

Vi har genom omfattande forskning och utveckling ökat kunskapen om exempelvis förfiltrering och aerobt granulärt slam (AGS). Pilotstudier har visat hur vi med förfiltrering kan minska ytbehovet till en tiondel jämfört med försedimentering, samtidigt som vi erhållit värdefulla drifterfarenheter. Vi har följt upp uppstarten och de första årens drift av Nordens första AGS-anläggning med detaljerade

studier i reningsprestanda, processoptimering, mikrobiell sammansättning och energieffektivitet. Detta har gjort att våra ägarbolag kan känns sig trygga med att välja denna teknik, som har 30-50 % lägre ytbehov än den konventionella aktivslamprocessen, vid om- och tillbyggnad av reningsverk. Inom kort avslutar vi ännu en pilotstudie som har visat hur vi kan integrera biologisk kväve- och fosforavskiljning i en ny process med rörliga bärare med målet att ha fler alternativ till AGS, som är både kompakta och energieffektiva.

2025 vet vi hur vi kan minska våra lustgasutsläpp.

Målet har delvis uppnåtts.

Grunden för att kunna minska utsläppen av lustgas är att övervaka dem kontinuerligt över tid med god noggrannhet. Vi har arbetat intensivt med mätning av lustgas och utvärderat mätteknik baserad på frånluften från bassängerna, som har visat sig mer tillförlitlig än att mäta i vätskefasen och uppskatta hur mycket som överförs till utgående luft. Genom att öka syrehalten vid den biologiska behandlingen på Klagshamns avloppsreningsverk har vi kunnat visa att lustgasutsläppen ungefär halverats. Det har visat sig att utsläppen varierar kraftigt med variationerna i temperatur, belastning och driftsätt. En viktig lärdom har därför varit att övervakning behöver ske på varje verk och bli en integrerad del av den löpande driftuppföljningen. Mätningar av god kvalitet behöver ske på fler verk och fler strategier för att minska utsläppen behöver utvecklas.

2025 vet vi hur vi kan effektivisera vår drift genom modellprediktiv styrning.

Målet har delvis uppnåtts.

Ett automatiserat arbetsflöde har etablerats för att överföra processdata från ett avloppsreningsverk till en digital tvilling, som efter kvalitetsgranskning och korrigering används till simuleringar med en processmodell. På så sätt kan prognoser för den framtida driften göras och olika scenarier med avseende på driftsätt utvärderas och jämföras för att exempelvis välja det mest resurseffektiva inställningar av driftparametrar. Även om vi nu vet hur detta kan gå till återstår mycket arbete med att demonstrera digitala tvillingar i verkliga driftsammanhang och kvantifiera nyttan i praktiken, vilket till exempel inkluderar frågor kring IT-infrastruktur och användargränssnitt för driftpersonal. Även med användarvänliga gränssnitt innebär dock modellprediktiv styrning nya arbetssätt för VA-organisationerna, och det kan först behövas utveckling av kapaciteten att arbeta med processmodellering generellt.

Projekt inom fokusområdet

Under projektet *ICU* (Idealt KolUtnyttjande) studerades förfiltrering och hydrolys och fermentering av primärslammet från filtret. Först uppfördes en relativt stor pilotanläggning (800 personekvivalenter) vid Källby avloppsreningsverk som sedan var under drift vid olika drift- och miljöbetingelser. Under detta projekt fick vi bland annat kunskap om hur intern produktion av lättillgänglig kolkälla påverkas av temperatur och uppehållstid. Projektet utgjorde den första halvan

av Elin Ossianssons doktorandprojekt på VA SYD. Delprojektet *ICU* följdes av en ytterligare pilotstudie, *FramBlik*, där vi, i samverkan med teknikleverantör Veolia Water Technologies – AnoxKaldnes, studerade hur förbehandlingen påverkar biologisk kväve- och fosforavskiljning i en ny biofilmsprocess med nedbrytbara bärare.

Filtrering av inkommande kommunalt avloppsvatten studerades även i Simon Gidstedts licentiatprojekt *Physicochemical Treatment of Municipal Wastewater – From Direct Membrane Filtration to Adsorption of Organic Micropollutants*. En pilotstudie utfördes vid Svedala avloppsreningsverk där fysiokemisk behandling, genom kemisk fällning, mikrosilning och membranfiltrering undersöktes som ett alternativ till biologisk behandling.

Efter en genomförd kunskapssammanställning om AGS blev den första anläggningen i Norden, vid Österröds reningsverk i Strömstad, ett utmärkt tillfälle att studera tekniken i praktiken. Tack vare en befintlig parallell konventionell aktivslamprocess kunde den nya och den väletablerade tekniken jämföras sida vid sida med avseende på till exempel reningsprestanda, energieffektivitet, ytbehov och mikrobiell sammansättning. Projektet *AGNES* var en del av Jennifer Ekholms doktorandprojekt *Implementering av aerobt granulärt slam i Sverige – en fullskalestudie*. De två projekten bidrog till att VA SYD valde AGS som reningsteknik för utbyggnaden av Södra Sandby avloppsreningsverk.

Även om pilotförsöken med partiell nitrifikation och anammox (anaerob ammoniumoxidation) (PNA) i huvudströmmen på Sjölanda inte resulterade i någon implementering av just den processen, kom resultaten till nytta på andra sätt. Strategier som utvecklades för styrning av PNA-processen baserat på pH implementerades i anläggningen för rejektvatten som VA SYD byggde enligt egen design på Klagshamns reningsverk. I utvecklingsprojekt kombinerades anammox med partiell denitrifikation (PDA), vilket är ett nytt koncept som testades i laboratorieskala med syntetiskt avloppsvatten, i pilotskala med inkommande avloppsvatten vid Källby och i laboratorieskala som efterbehandling med biologiskt behandlat avloppsvatten från Klagshamn i samverkan med Veolia Water Technologies – AnoxKaldnes. Konceptet med PDA bedömdes som intressant för vidareutveckling för efterbehandling efter biologisk behandling.

För att förbättra energibalansen vid reningsverk är det viktigt att fokusera på effektiviteten vid luftning. Projektet *Rent blås – övervakning och underhåll av luftare* genomfördes med finansiering från bland andra SVU och IVL:s stiftelse för att skapa en bild av hur tillståndsbaserat underhåll av luftarsystem kan tillämpas och hur stora de potentiella vinsterna är vid svenska reningsverk. Medverkan har också skett i två projekt där potentialen för att använda syrgas som producerats som biprodukt vid vätgasproduktion bedömts tillsammans med potentialen att utöka metanproduktionen vid reningsverk genom metanisering av koldioxid med vätgas: *Vätgas i tanken*, Vinnova och *Ökad biogasproduktion genom tillvaratagande av koldioxid*, Familjen Kamprads stiftelse.

Nyligen har ytterligare projekt startats som adresserar utmaningen att uppnå skärpta utsläppsvillkor. Dit hör *Kväverening för skärpta krav* där det pågår pilotförsök vid Ellinge avloppsreningsverk för att utvärdera en biofilmsprocess för nitrifikation efter konventionell biologisk behandling med syfte att uppnå mycket låga halter av ammoniumkväve. I projektet *Synergier mellan kvartär rening och*

rening avseende N, P och BOD undersöks just hur man vid design och drift kan utnyttja synergier mellan olika processer för att nå långtgående rening både med avseende på mikroföroreningar och de parametrar vid redan har krav på.

På Klagshamns avloppsreningsverk mäts utsläppen av lustgas för att få en första förståelse för hur vi kan mäta utsläppen och utvärdera mätdata. Förhoppningen utifrån tidigare forskning är att vi kan minska utsläppen med 35–60 %. Lustgasmätningarna görs med en teknik där frånluften från det luftade aktivslamsteget samlas in i huvar och förs till en analysator där koncentrationen mäts. Hittills har kartläggningen visat att lustgasutsläppen från aktivslamanläggningen ligger nära FN:s klimatpanels nyckeltal (1,6 % av inkommande kväve). Studien har även visat att utsläppen är mycket dynamiska med stora variationer över dygn, årstid och anläggningsdel. Mätning har således identifierats som en nödvändig förutsättning för att kunna kvantifiera lustgasutsläppen, veta var de sker, samt för att kunna vidta åtgärder som verifierat leder till minskade utsläpp. Ett nytt projekt med bred uppslutning, *Minska lustgasutsläppen från svensk vattenrening*, har startats med målen att öka kunskapen om hur övervakning bör ske och öka antalet verk där mätningar görs, med minskade utsläpp som följd.

En digital tvilling har demonstrerats för Öresundsverket i Helsingborg vilket innebär att data från verket automatiskt överförs till en processmodell som används till simuleringar och prognoser för hur den framtida driften kan påverkas i mer resurseffektiv riktning. I projektet som heter *Digital tvilling för hållbar och resurseffektiv drift av avloppsreningsverk* har Sweden Water Research medverkat i referensgruppen och bidragit till styrningen av projektets innehåll. Projektet drivs av doktoranden Christoffer Wärff. För att förbättra förutsättningarna för bra design, utvärdering och digitalisering av reningsverk arbetas det inom *Karakterisering av kommunalt avloppsvatten* med att bland annat tillgängliggöra och öka trovärdigheten för metoder för detaljerad karakterisering av inkommande avloppsvatten. En försöksmetod och -uppställning har också utvecklats för att kunna karakterisera avloppsvatten med avseende på sjunkhastigheten för inkommande partiklar med syfte att förbättra dimensionering och drift av försedimenteringsbassänger.

6. Cirkulära avloppssystem

Detta fokusområde har syftat till att accelerera arbetet med att förändra dagens konventionella avloppssystem, som till stor del är ett linjärt system, till ett cirkulärt system där växtnäring, energi och vatten återvinns.

Återvunnet renat avloppsvatten har potential att minska dricksvattenbehovet och minska kapacitetsproblem i ledningsnätet. Drivkrafter för återvinning, som minskad sårbarhet, ökad resiliens, ekonomiska, juridiska och miljömässiga incitament är inte idag tillräckligt starka och leder till begränsad implementering av vattenåtervinning från avlopp.

Värmeåtervinning ur avlopp i fastigheter har stor potential för att öka energiåtervinningen ur avlopp och skulle inte påverka dagens avloppsrening negativt. Hur vi ska använda den producerade biogasen på bästa sätt är inte helt klargjort och behöver utvärderas i framtiden.

Avloppsslammet innehåller nästan allt av växtnäringsämnet fosfor från avloppet och återförs till stor del till åkermark. Slamspridningen ifrågasätts dock utifrån ökad kunskap, eller antaganden, om föroreningar, och alternativ till denna behöver utvärderas. Utvärdering pågår av exempelvis pyrolys av slam men är ännu inte i mål.

Projekt som visar på exempel på planer för en successiv och integrerad övergång till nya avloppssystem som ökar cirkulariteten, såsom decentraliserade och distribuerande avloppssystem (källsorterande system), behövs. Riktade studier behövs också om organisatoriska lösningar, framförallt med fokus på hur man kan skapa incitament för samverkan inom värdekedjan för att implementera hållbara/cirkulära lösningar och utveckla affärsmodeller som stödjer dessa.

Mål inom fokusområdet

År 2025 vet vi hur vi ska beakta decentraliserade och distribuerande avloppssystem i nuvarande och nya system.

Målet har inte uppnåtts.

Svartvattensystem, decentraliserade system för gråvattenrening och distribuerande avloppssystem (till exempel urinsortering som komplettering till befintliga reningsverk) innebär miljömässiga fördelar jämfört med dagens konventionella system och kan också bidra till att ombyggnationer av befintliga avloppsreningsverk kan skjutas upp tack vare lägre belastningsökningar. Goda tekniska bevis för ökad återvinning av växtnäring, energi och vatten har visats i mindre demonstrationsprojekt, men dessa projekt skulle behöva växa i storlek och antal innan tekniken med källsorterat avlopp utgör ett reellt alternativ.

Sammanfattningsvis kan konstateras att det finns stora möjligheter i cirkulära lösningar, särskilt när det gäller effektiv resursanvändning och innovation. Samtidigt finns det flera hinder, inklusive tekniska och ekonomiska utmaningar, begränsande lagstiftning, behovet av kundmedvetenhet, samarbete med aktörer i värdekedjan, administrativa bördor och motstånd mot förändring.

2025 vet vi på vilka sätt vi behöver återanvända vatten i vår region.

Målet har inte uppnåtts.

Arbetet har haft fokus på *vad, hur och när* vatten behöver återvinnas, och då speciellt kommunalt avloppsvatten, och vad som behöver förändras för att implementering ska ske i en betydande skala.

Kapacitetsbrist kan förekomma för produktion och distribution av dricksvatten, vilket idag hanteras med att utöka kapaciteten. Andra drivkrafter för återvinning såsom sårbarhet, miljömässiga och ekonomiska, är inte idag tillräckligt starka. Konsekvensen blir att så länge ingen ställer krav på en omställning eller incitamenten ändras kommer utveckling och återanvändning inte att ske i vår region.

Slutligen konkluderas att omställningen till återvinning kommer att ske stegvis och utan att alla regelverk finns på plats. Den stora frågan för att komma framåt handlar inte om vad som är tekniskt möjligt, utan snarare vem som tar ansvaret för utvecklingen.

2025 vet vi hur vi ska utnyttja energiinnehållet i avloppsvatten på bästa sätt.

Målet har uppnåtts.

Värmeutvinning ur avlopp påverkar inte avloppsreningen, om utvinningen sker på fastighetsnivå. Värmeutvinning ur duschar har störst potential, undantaget på sommartid då centraliserad värmeåtervinning ur avloppsvattnet har större potential. Det står dock klart att en implementering kan påverka stadens integrerade energisystem, både positivt och negativt, och beror på lokala förutsättningar. Restvärmen i det renade avloppsvattnet kan med fördel användas som fjärrvärme i staden eller i samarbete med verksamheter som kan dra nytta av lågvärdig värme.

Studier för att utnyttja den kemiska energin i avloppets organiska material på bästa sätt vid avloppsreningen, och samtidigt maximera mängden kol till biogasproduktionen, har skett inom fokusområde *Resurssnål och miljövänlig avloppsrening* med intressanta resultat.

Ingen studie kring hur producerad biogas ska användas på bästa sätt, och om/när biogasproduktion ska ske, har genomförts inom perioden. Vi vet dock vilka alternativ som finns, hur de fungerar, tillämpas och påverkar miljön. Vägvalet handlar mycket om hur man som organisation viktar klimatpåverkan, självförsörjning med mera mot varandra. Varje ägarbolag behöver utreda vad som är bäst för varje enskilt reningsverk.

2025 vet vi vilka slamavsättningsmetoder som passar bra för vår region.

Målet har inte uppnåtts.

Idag sprids avloppsslam på åkermark eller, vid kvalitetsproblem, blandas med andra material för annan användning. Användningen av slam styrs i hög grad av slamdirektivet och här framhålls

kostnadseffektiviteten i användningen av slam inom jordbruket. Vikten av flexibilitet betonas, även med tanke på att slamhanteringen i hög grad är beroende av lokala förhållanden.

Slamförsöken på åkermark visar att slamspridning med normal mineralgödselgiva ger bra resultat i jämförelse med enbart tillförsel av mineralgödsel. Ytterligare studier kring upptag av PFAS i gröda behöver genomföras.

Det finns osäkerheter kring användningen av slam inom jordbruket som bland annat baseras på förväntningar om ännu högre kvalitetskrav på slam och krav på fosforåterföring. Alternativen till slamspridning är processer baserade på förbränning, med fosforutvinning ur aska, och pyrolys där fosfor stannar kvar i återstoden, slambiol.

Pyrolys av slam är en relativt ny process och på Ellinge avloppsreningsverk pågår pilotförsök med pyrolys. En teknisk utvärdering och framtagande av en hållbar affärsmodell för produktion av slambiol återstår att ta fram.

Projekt inom fokusområdet

Vi medverkar i och delfinansierar Svenskt Vattens nationella kluster för vattenforskning, VA-teknik Södra, som leds av LTH/Chalmers. Det samlade finansiella stödet under programperioden 2022-2024 delfinansierade forskningsledare inom klustret. Klustret rör också fokusområde 5 och 7.

En sammanställning av de nu 44-åriga och fortlöpande *slamförsöken på åkermark i Skåne* har presenterats under perioden. Normal slamgiva i kombination med mineralgödsel har gett 4 % skördeökning, 10 % högre multhalt, ökade halter av växttillgänglig fosfor i marken (50-250 %) samt ingen eller liten haltökning (0-6 %) i marken av tungmetallerna bly, kadmium, krom och nickel men ökade zink- (6-14 %), kvicksilver- (20-28 %) och kopparhalter (41-51 %) i jämförelse med enbart tillförsel av mineralgödsel. Växtupptaget av bly, kadmium, krom, kvicksilver, nickel och zink har inte skilt sig mellan slamgödslade och ej slamgödslade försöksled. För koppar har växtupptaget varit marginellt högre i slamgödslade led.

En specialstudie om PFAS visade på en ackumulering av PFAS i jord relaterat till mängden slam som tillförts och att dagmask har högre halter PFAS i sig vid slamspridning. I höstvetet som skördades från slamgödslade led upptäcktes endast PFOS och en PFCA-prekursor, men enbart i rötter och skörderest. Inga PFAS kunde detekteras i vetekärnan. Ytterligare studier av upptag i olika grödor behövs för att kunna uppskatta risken med PFAS vid slamspridning på åkermark.

Testbädd Ellinge, en pilotanläggning för torkning och pyrolys av avloppsslam i en nationell kontext är under år 2025 etablerad på Ellinge avloppsreningsverk i Eslöv. Anläggningen tar emot slam från svenska avloppsreningsverk för att studera effekten av olika reningsverks konfigurationer och slamhantering på återstodens, slambiollets, kemiska och fysikaliska egenskaper. Arbetet inkluderar också arbete kring affärsutveckling, systemanalys och odlingsförsök. Preliminära resultat visar på att kadmium och kvicksilver samt organiska mikroföroreningar, såsom PFAS, avskiljs från slammet i pyrolyprocessen. Projektet avslutas tidigast under år 2027.

Studien *Hållbarhetsanalys för värmeåtervinning ur avlopp* undersökte vilken effekt som värmeåtervinning i olika positioner (från byggnad till reningsverk) och olika omfattning får på systemet i stort när det gäller energiåtervinning, vattentemperatur och avloppsvattenrening.

Mängden återvunnen värme är störst vid återvinning i duschar. Undantaget är sommartid då värmeåtervinning med värmepumpar på en större del av flödet i ledningsnätet kan ta ut mer energi totalt sett. Värmeåtervinning i duschar leder inte till en temperatursänkning som har någon signifikant påverkan på avloppsreningen. Det beror på att det i ledningsnätet konstant går energi förlorad till omgivande mark och luft.

Värmeåtervinningen påverkar det integrerade energisystemet på olika sätt beroende på vilken energikälla den återvunna värmen ersätter. Minskat värmeunderlag för kraftvärme leder samtidigt till minskad produktion och försäljning av el och värme, vilket i sin tur leder till sämre ekonomiskt resultat för energibolaget. Kostnaden för och vinsten med värmeåtervinning tillfaller den som tar ut och återbrukar värmen om inte andra avtal sluts.

I projektrapporten för *Vilket vatten till vad? Hållbar vattenförsörjning genom användning av alternativa vattenkällor* diskuteras vattenbesparande åtgärder och användning av alternativa vattenkällor som två kompletterande sätt att skapa en hållbar vattenanvändning. Båda behövs för att minska användningen av dricksvatten. Det konstateras att det ofta saknas ekonomiska incitament för tillhandahållandet av återvunnet vatten. Rapporten fokuserar på vad som ändå går att åstadkomma och visar på möjliga lösningar, som exempelvis att bevattna golfbanor med renat avloppsvatten.

Önskvärd vattenkvalitet baseras i rapporten på fem kvalitetsområden: arbetsmiljö, människor i omgivningen, omgivande miljö, användarens upplevelse av vattnet samt teknisk funktionalitet.

Studien konkluderar att omställningen till andra lösningar kommer att ske stegvis och utan att alla regelverk finns på plats. Den stora frågan för att komma framåt handlar inte om vad som är tekniskt möjligt, utan snarare vem som tar ansvaret för utvecklingen. Projektdeltagarna menar att VA-huvudmännen måste visa vägen, men att utvecklingen ska ske i bred samverkan med andra aktörer.

Juridiska aspekter när avloppsvatten blir tekniskt vatten är en annan rapport. Många VA-organisationer planerar att återvinna renat avloppsvatten (och dagvatten) som tekniskt vatten, men tekniskt vatten är inte tydligt definierat i lagar och regelverk. Återvinning av avloppsvatten passar inte in i det regelverk som finns, och många av de projekt som startats har stött på hinder hos miljömyndigheterna. Bland hinder som VA-organisationerna lyfte fram inom projektet fanns att det saknas kvalitetskrav för tekniskt vatten och att ansvarsfrågan är oklar. Projektets jurister sa att tjänsten "tekniskt vatten" inte omfattas av lagen om allmänna vattentjänster (LAV) och inte är något som VA-huvudmannen har skyldighet att tillhandahålla. Tekniskt vatten skulle kunna bli en vattentjänst enligt LAV om definitionen "vatten lämpligt för normal hushållsanvändning" ändras. En annan slutsats från juristerna var att det inte finns något direkt i lagstiftningen som hindrar den här typen av verksamhet, men den kräver att man tänker särskilt på frågor som gäller ansvar och ekonomi.

RecoLabs processlösning, inklusive insamlingsystemet i Oceanhamnen, har ännu inte utvärderats i sin helhet. Flera samarbetsprojekt genomförts både internationellt (Horisont 2020 Run4Life, Interreg ANCHOR, WETSUS) och nationellt som resulterat i flera vetenskapliga artiklar. Inom Ashley Halls industridoktorandprojekt *Rening av källsorterat gråvatten för låga utsläppskrav med MBBR och horisontella filter* undersöks rening av källsorterat gråvatten (hushållspillvatten utan klosettavlopp) för att uppnå låga utsläpphalter för känsliga recipienter eller för återanvändning. Projektets olika delar tar sig bland annat an horisontella filter såsom våtmarker och förbehandling av gråvatten med processer med rörliga bärare (MBBR). En uppföljning av två års gråvattenreningen på RecoLab i Helsingborg har också genomförts vilken visade att låga halter av föroreningar, i synnerhet kväve, kunde uppnås. Projektet ingår även i fokusområde 6.

Utvärdering, uppskalning och spridning av tekniken återstår. I Östra Ramlösa i Helsingborg planeras en utveckling av konceptet, med en decentraliserad gråvattenrening som integreras i stadsparksmiljö. Framgångsfaktorer ligger i stadens innovationsidentitet samt formerandet av en arbetsgrupp mellan kommun, avfalls- och VA-bolag.

Inom projektet *REWAISE* (som också ingår i fokusområde 1 och 8) har två guider som ska inspirera, underlätta och ge svar på grundläggande frågor om vad man praktiskt bör tänka på vid användning av regn- och dagvatten respektive gråvatten i en fastighet har tagits fram. Guiderna fokuserar på den tekniska genomförbarheten av att använda regn-, dag och gråvatten i fastigheter.

Dag- och dränvattenrening för att ersätta dricksvatten i tvättmaskiner och toalett samt urinsortering med efterföljande volymreducering har implementerats i byggemenskapen Röda oasen i Sege Park i Malmö. Även i MKB:s fastighet i Bellevuegården i Malmö har dagvattenrening installerats för toalettspolning och droppbevattnings.

7. Rening från organiska mikroföroreningar i avlopp

Detta fokusområde har syftat till att beskriva och utveckla lösningar för rening av organiska mikroföroreningar för nuvarande och framtida avloppsreningsverk. EU:s nya avloppsdirektiv innefattar krav på kvartär rening, med uppgift att minska utsläpp av organiska mikroföroreningar, på en del reningsverk. Resultaten har därför hög relevans och aktualitet även om Sweden Water Research arbete inom ämnet påbörjades långt tidigare.

Vi har skapat en bättre förståelse för reduktionen av olika organiska mikroföroreningar med ozonering, aktivt kol och biologiska processer, samt ökat kunskapen om dimensioneringskriterier och styrstrategier för effektiv användning av ozon och aktivt kol, och efterbehandlingssteg för ozonering. Forskningsresultat och erfarenheter har sammanställts i en översiktlig rapport för att vara mer lättillgängliga för VA-organisationernas personal. Reningsteknikerna är i huvudsak beforskade utifrån kapaciteten för olika tekniker att uppnå önskad reningsgrad. Det som kvarstår är förståelse av synergier med andra reningssteg samt behov och förutsättningar för resurseffektivitet, energineutralitet och kostnader.

Mål för fokusområdet

2025 vet vi om reningsverk ska välja ozonering, aktivt kol eller en kombination av dessa som reningsprocess

Målet är delvis uppnått.

Genom tillämpad forskning har vi byggt kunskap som lagt grunden för val av processteknik för kvartär rening, vilken har utnyttjats i utredningar på ägarbolagen. Forskningen har visat hur vi kan tillämpa reningstekniker baserade på aktivt kol och ozon för att nå önskad reningsgrad. Val av processteknik påverkas till stor del av förutsättningar på respektive avloppsreningsverk och bör anpassas efter behoven i den specifika recipienten. Det finns flera aspekter att ta hänsyn till och de skiljer sig mellan reningstekniker, bland annat processutformning, dimensionering- och driftaspekter, arbetsmiljö, miljöpåverkan och klimatbelastning. Resultaten är sammanställda i rapporten *Processval för kvartär rening*. Samtidigt sker nu en förändring av förutsättningarna med avseende på kravbild. Framöver kommer val av processteknik behöva ställas i relation till nya krav på energineutralitet i EU:s avloppsdirektiv samt en trend med striktare utsläppskrav i samband med nya tillstånd för reningsverk. Synergier mellan reningsprocesser och åtgärder behöver utforskas för att göra kloka och resurseffektiva processval för kvartär rening och klara nya krav. Arbetet är delvis påbörjat i ett SVU-projekt.

2025 vet vi hur styrningen av en ozonanläggning ska se ut.

Målet är uppnått.

Vi har genomfört omfattande forskning med syfte att utveckla tillämpbara och tillförlitliga metoder att styra och prediktera reningsgraden av organiska mikroföroreningar. Förutsatt att vattenkvaliteten i förhållande till organiskt material och nitrit är stabil kan ozonering styras flödesproportionellt. I andra fall kan kemisk syreförbrukning (COD) och UVA₂₅₄ användas för normering av ozondos vilket har visats för ett flertal av ägarbolagens större reningsverk. Naturliga variationer i pH och temperatur har ingen visad effekt på reningsgraden medan något förhöjda värden av partiklar har en mindre påverkan. Ett prediktionsverktyg är framtaget för att modellera reduktion av mikroföroreningar för ett specifikt avloppsvatten. Fortsatt utvecklingsarbete är nödvändigt i samband med implementering för anpassning till specifikt reningsverk.

Projekt inom fokusområdet

Inom fokusområdet har fyra doktorandprojekt ingått. Alla dessa har bidragit till måluppfyllelsen även om en stor del av arbetet genomfördes innan fokusområdet formulerades och med målsättningar som i många fall var fler än målsättningarna i fokusområdet. Forskningen har inkluderat flera olika organiska mikroföroreningar såsom läkemedel (antibiotika, smärtstillande, betablockerare och antiepileptiska ämnen), biocider och PFAS. Ämnena valdes delvis ut baserat på framtagna bevakningslistor över skadliga ämnen från Naturvårdsverket och EU.

Maja Ekblads doktorsavhandling *Removal of organic micropollutants from wastewater in a Swedish context* (2023) fokuserar på hur ozonering kan anpassas till svenska reningsverk utifrån drift- och designparametrar. Pilotförsök genomfördes på 14 avloppsreningsverk, flertalet tillhörande Sweden Water Research ägarbolag. I dessa studier undersöktes hur reningsgraden av mikroföroreningar påverkades av ozondos, hydraulisk uppehållstid (HRT), vattentemperatur, pH, koncentration av organiskt material och tidigare processteg. Resultaten visade att koncentrationen av organiskt material är den parameter som påverkar avskiljningen av mikroföroreningar mest. Vattnets reningsgrad, temperatur och pH samt hur ozonet blandas in i vattnet har mindre påverkan. Nyckeltal för avskiljningen samt lämpligheten av ozonering för ett specifikt avloppsvatten kan tas fram utifrån dos-responskurvor från labbförsök och därmed minska behovet för pilotförsök inför implementering i fullskala. Ozonering är en teknik som är väl lämpad för svenska förhållanden. Under doktorandtiden deltog Maja i projekten *Rening av svårnedbrytbara föroreningar i avloppsvatten – RESVAV* (2014–2017), *BONUS Cleanwater* (2017–2020) och *Rening från läkemedelsrester – vad driver utvecklingen framåt?* (2020–2021).

Rubén Juárez Cámaras licenciatavhandling *Ozonation in advanced wastewater treatment – practical aspects and development of a prediction tool for pharmaceutical removal* (2021) fokuserar på optimering av ozonering för att underlätta fullskalig implementering. Försök gjordes i pilot- och labbskala för att grundligt undersöka påverkan av driftsförhållande och -parametrar på reduktionsgraden av mikroföroreningar. Resultaten visade att HRT kunde sänkas jämfört med

rekommendationer vilket möjliggör mer kompakta anläggningar och minskar både investeringskostnader och utrymmeskrav. Ett prediktionsverktyg utvecklades baserat på de vanliga analysparametrarna kemisk syreförbrukning (COD) och suspenderat material (SS) för att förutsäga reduktionsgraden utifrån ozondos. Slutligen undersöktes även bildandet och nedbrytning av den oönskade biprodukten bromat under ozonering och efterföljande biologisk efterbehandling i en denitrifierade biofilmsprocess. Under doktorandtiden deltog Rubén i projekten *BONUS Cleanwater* (2017–2020) och *Less is More* (2018–2021).

Ellen Edefells doktorsavhandling *Perspectives on biofilms for the removal of organic micropollutants in wastewater* (2022) fokuserade på biologisk nedbrytning av mikroföroreningar i kombination med traditionella reningsprocesser som ozonering och aktivt kol. Pilotanläggningar kördes på tre reningsverk och följdes upp med labbförsök. Resultaten visade att eftersom mikroföroreningar generellt är svåra att bryta ner biologiskt bidrar främst ozonering eller aktivt kol i pulverform (PAK) eller granuler (GAK) med merparten av avskiljningen. Biologiska processer bidrar främst med stödfunktioner som gör de traditionella teknikerna mer resurseffektiva. Rening av mikroföroreningar kan kombineras med kväverening genom att dosera PAK i en bioreaktor utan att nitrifikationen hämmas. I filter med GAK utvecklas en biofilm på kolet som bryter ner organiskt material inklusive vissa mikroföroreningar vilket troligtvis bidrar positivt och förlänger livslängden på kolet. Forskningen kunde också visa att adsorptionsprofiler av mikroföroreningar utvecklas i kolfilter vilket kan förklara genombrottsmönster i det behandlade vattnet. Den utvecklade analysmetoden kan också användas för att identifiera historiska punktutsläpp av föroreningar. Under doktorandtiden deltog Ellen i projekten *BONUS Cleanwater* (2017–2020) och *Less is More* (2018–2021).

Simon Gidstedts licenciatavhandling *Physiochemical treatment of municipal wastewater – from direct membrane filtration to adsorption of organic micropollutants* (2022) fokuserar på två delar, adsorption av mikroföroreningar till aktivt kol och en del om direkt membranfiltrering som ingår i fokusområdet för resurssnål och miljövänlig avloppsrening. Adsorption av mikroföroreningar undersöktes med kolfilter med GAK i pilotskala och PAK i labbskala. Resultaten gav en djupare förståelse för organiskt material i vattnet och de kemiska egenskaperna hos mikroföroreningarna påverkar avskiljningen av mikroföroreningar. Pilotförsöken visade hur avskiljningen minskar över tid och hur förändrade driftparametrar med längre flödes hastighet genom kolfilter kan förbättra avskiljningen av mikroföroreningar. Under doktorandtiden deltog Simon i projektet *Less is More* (2018–2021).

Projektet *Synergier mellan kvartär rening och rening avseende N, P och BOD* pågår och avslutas under 2025. Syftet är att förbättra VA-organisationernas möjligheter att välja hållbara och kostnadseffektiva lösningar när kvartär rening införs samtidigt som kraven på kväve, fosfor och organiskt material skärps. Inom projektet sammanställs och bearbetas erfarenhet och kunskap från litteratur och befintliga anläggningar, med fokus på ozonering och aktivt kol. Projektet ingår också i fokusområde 5.

8. Föroreningar i vattenmiljön

Fokusområdets syfte har varit att öka kunskap om och utveckla metoder för rening av föroreningar i dagvatten samt att undersöka VA-anläggningars påverkan på badvattenkvalitet.

Arbetet har påbörjats med att utveckla nya reningssystem för dagvatten som kan ge en mer långtgående rening bland annat vid Värpinge våtmark i Lund och i direkt anslutning till fastigheter i bland annat Sege Park i Malmö. I det senare fallet ska vattnet till viss del ersätta dricksvatten.

En fråga som har rönt stort lokalt intresse är hur VA-anläggningen generellt påverkar badvattenkvaliteten i Helsingborg och Malmö. Inom ramen för fokusområdet har vi med hjälp av nya mikrobiologiska metoder undersökt källor till dålig mikrobiologisk badvattenkvalitet vid stränder i Helsingborg och Inre Barnviken i Malmö.

Inom ramen för fokusområdet har vi med hjälp av nya mikrobiologiska metoder undersökt källor till dålig mikrobiologisk badvattenkvalitet. Kunskapsläget inom detta område är primärt på forskningsnivå och teknikutveckling och frågor kring juridiskt ansvar behöver utvecklas.

Resultattolkningen från omfattande undersökningar utförda 2019-2023 utesluter inte påverkan från VA-anläggningen men har inte direkt kunnat kopplas till temporära utsläppshändelser eller felkopplingar från VA-anläggningen. Frågeställningen har ett väsentligt mer komplext orsakssamband där fler källor bidrar till problematiken. Kunskapsläget inom detta område är primärt på forskningsnivå och teknikutveckling och frågor kring juridiskt ansvar behöver utvecklas.

Det finns ett tydligt behov av snabbare övervakningsmetoder vid våra bad. Sådana metoder skulle förbättra möjligheten att upptäcka föroreningshändelser i rätt tid. I Helsingborg och Malmö har därför två innovativa metoder utvärderats, onlineövervakning av fekala indikatorbakterier och FCM. Metoderna är lovande men utveckling krävs för att de ska kunna användas utan behov av särskild infrastruktur och dedikerad personal.

Mål inom fokusområdet

2025 har vi kunskap om behovet av att rena avloppsvatten och dagvatten från mikroplaster.

Målet är uppnått.

Orenat dagvatten är den största spridningsvägen för mikroplaster till recipient, följt av renat dagvatten. Renat avloppsvatten har jämförelsevis små utsläpp eftersom avloppsreningsverken kvarhåller det mesta av mikroplasten. Däckpartiklar och cigarettfimpar uppskattades vara de största källorna av mikroplast till det urbana vattensystemet.

Det finns ännu inga utsläppsbegränsningar för utsläpp av mikroplast. Om sådana begränsningar skulle införas får detta i sin tur konsekvenser på systemnivå och vilka aktörer som blir ansvariga för att hantera föroreningen.

Förutom rening av dagvatten krävs också minskad stadstrafik, förändrat körbeteende och mer dagvattenrening för att minska utsläppen av mikroplast från det urbana vattensystemet till recipient.

2025 har vi en prototyp för detektion av mikroorganismer och mikroföroreningar i dagvatten.

Målet är delvis uppnått.

För närvarande mäts varken mikroorganismer eller mikroföroreningar i dagvatten. Dagvatten släpps oftast ut i känsliga recipienter helt utan, eller med otillräcklig rening. Det kan därför vid speciellt kraftiga regn kan vara ett större miljöproblem än renat avloppsvatten. Föroreningar kommer från en rad olika diffusa källor med ursprung i den urbana miljön. Mängden dagvatten varierar och vid regn generas höga flöden som kan spola ner stora mängder föroreningar på kort tid. Dagvattnet är därmed av mycket varierande kvalitet och det är svårt att mäta och kontrollera.

Detektion av mikroorganismer är möjligt med hjälp av de system som har utvecklats för badvatten. Enheten upptäcker aktiviteten hos målbakterier inom några minuter med hjälp av ett enzymatiskt test. Automatiserad provtagning möjliggör frekventa analyser med jämna mellanrum. När det gäller detektion av mikroföroreningar finns ingen motsvarande teknik för onlineövervakning.

En prototyp är under uppbyggnad för att utveckla reningstekniker för rening av mikroföroreningar i dagvatten i Värpinge våtmark i Lund och en annan finns i direkt anslutning till fastigheter i bland annat Sege Park i Malmö. Tekniker för rening behöver utvecklas för att möta både dagens och framtidens krav på dagvattenkvalitet.

2025 har vi beprövade metoder för rening och återvinning av regn- och dagvatten på lokal nivå.

Målet är uppnått.

Vi har utvecklat metoder och metodik för rening och återvinning av regn- och dagvatten på lokal nivå. Kan vi ta hand om, rena och använda regnvatten direkt i fastigheten får vi dubbla nyttor – både minskad dricksvattenanvändning och mindre mängd dagvatten att leda bort.

Ett exempel är hur dagvatten från mobilitetshuset i Sege Park i Malmö, liksom från omgivande mark, leds in i en underjordisk lagringskapacitet på 100 m³. Ett bevattningssystem leder dagvattnet till de stora blomlådorna på fasaderna.

Ett annat exempel är Röda Oasen, det första svenska flerfamiljshuset som använder renat dagvatten från det kommunala vattenledningssystemet för tvättmaskiner och toaletter. Membranteknik, som utvärderats i ett tidigare projekt av Lunds universitet, används för att rena dagvattnet.

Mikroföroreningar med en storlek större än 0,1 mikrometer avlägsnas från det förorenade dagvattnet. Det kan handla om mikroplaster, partiklar och bakterier. Näringsämnen och andra lösta ämnen avskiljs inte genom denna teknik, men reduceras i mycket hög grad om de är bundna till partiklar.

2025 har vi digitala varningssystem vid dålig badvattenkvalitet baserat på vetenskapen om ursprung och orsak.

Målet är delvis uppnått.

Projektet har visats att det är möjligt att detektera mikroorganismer med hjälp av de metoder som har utvecklats inom projektet. För de två bakterier som används som fekala indikatorer, *Escherichia coli* (E. coli) och intestinala enterokocker, utvärderades onlineövervakning med hjälp av ColiMinder-systemet (Vienna Water Monitoring Solution) för såväl havsvatten som dricksvatten. Enheten upptäcker aktiviteten hos målbakterier inom några minuter med hjälp av ett enzymatiskt test. Automatiserad provtagning möjliggör frekventa analyser med jämna mellanrum. En betydande utmaning med onlineövervakning av speciellt badvatten är den omfattande infrastruktur som krävs. Det gäller skydd av utrustningen mot yttre miljöförhållanden, men också elektriska och hydrauliska system, som vattenpumpar, för att säkerställa korrekt funktion.

AI-inspirerade metoder, till exempel maskininlärning, har beaktats för att undersöka automatiserad tolkning av flödescytometridata och andra verktyg för att kunna förutsäga badvattenkvalitet. Maskininlärning har bland annat använts för att kunna studera abiotiska faktorer som nederbörd, vindriktning och temperatur. Mätresultaten analyserades dels för att ge snabba svar på vattenkvaliteten, dels för att kunna leda till utveckling av smarta algoritmer som på sikt kan användas för att förutspå problem med vattenkvaliteten innan de faktiskt uppstår.

Projekt inom fokusområdet

Medan avloppsvatten i decennier har varit föremål för stor uppmärksamhet har dagvatten inte fått samma uppmärksamhet. Regnvatten i sig är en ren vattenkälla men förorenas när det passerar över stadsytor som släpper ut många föroreningar bland annat partiklar, näringsämnen, metaller, organiska föroreningar som PFAS, alkylfenoler eller PCB, mikroplaster etcetera.

Dagvattenmängderna är betydande. I många städer är föroreningarna från dagvatten idag mycket större än utsläppen av föroreningar från renat avloppsvatten. På nationell nivå kommer lagkraven på dagvattenrening att skärpas.

Projektet *FanpLESStic-sea* tog fram kunskap om behovet av att rena avloppsvatten och dagvatten från mikroplaster. Ett problem är att det inte finns någon standard för hur man ska mäta, ta prover och analysera mikroplaster i olika former vilket gör det svårt att jämföra resultat.

Emma Fältström var anställd som industridoktorand i projektet. Hon specialiserade sig på mikroplastflöden i urbana vatten. I hennes projekt *Mitigating Microplastics Pollution in Urban Water Systems: Flow, actors, and control measures* utvecklades och användes en metod som bygger på substansflödesanalys för att få en överblick över flöden i den urbana miljön. Genom att jämföra källuppskattningar med mätdata i utvalda källor samt i avloppsvattnet och dagvattnet kan man få en bild över vilka källor som kan vara betydande för avloppsvattnet och dagvattnet.

Flödeskartläggningar kan också verka som stöd för att utvärdera vilka åtgärder som kan vidtas, dess möjliga effekter på flödena, samt vilka som kan anses ansvariga för olika flöden.

Inom projektet *Urbana Bad* har mätsystem utvecklats för detektion av mikroorganismer i badvatten som också kan användas för detektion av mikroorganismer i dagvatten. Projektet har arbetat med att ta fram tekniker för att utveckla digitala varningssystem vid dålig badvattenkvalitet baserat på vetenskapen om ursprung och orsak.

Två industridoktorander är kopplade till projektet. Isabel Erb som fokuserar på maskininlärning och modellering i sitt doktorandarbete *Utforskning av nya online-metoder för övervakning och analys av badvattenkvalitet*. Hennes huvudsakliga ansvarsområde inom *Urbana Bad*-projektet innebär i första hand att hitta faktorer som påverkar stadsbadvattenkvaliteten i Skåne. Detta sker genom att kombinera kunskap tillgänglig från övervakningsteknik, samt kunskap om den roll som hydrologin och bakteriesammansättningar i sediment spelar för badvattnets kvalitet. Delar av projektet kommer att innefatta en modellering av övervakningsdata, som syftar till att bidra till att bedöma och prognostisera mikrobiell vattenkvalitet i marina miljöer i Helsingborg.

Ellinor Franks doktorandarbete *Utvärdering av sediments bakteriella innehåll med koppling till badvattenkvalitet* undersöker källan till dålig badvattenkvalitet med hjälp av DNA-sekvenseringen av bakteriesamhället i havsvattnet och i sediment. Hennes del i projektet har varit att analysera Next Generation Sequencing-data genererad från havsbotten-sediment och vatten i Öresund. Syftet med analysen är att utvärdera sedimentens roll i spridning och återsuspension av bakterier, samt undersöka kopplingar mellan möjliga spridningspunkter av fekala bakterier och sedimentens mikrobiella samhällen. Resultat från dessa analyser ska användas som underlag för att avgöra kvaliteten av badvattnet längs Skånes västkust, och om möjligt hitta lösningar på de problem som orsakar dålig vattenkvalitet.

Projektet *ISWIM* arbetar med att ta fram tekniker och utveckla en prototyp för rening av mikroföroreningar i dagvatten. Ronja Nybom är industridoktorand inom projektet med doktorandarbetet *Rening av organiska mikroföroreningar från dagvatten*. Tekniker för rening behöver utvecklas för att möta både dagens och framtidens krav på dagvattenkvalitet, resurshushållning och möjlighet till användning. I dag är dagvattendammar och våtmarker de dominerande reningsteknikerna. Dessa kommer att spela en viktig roll också i framtiden. Men anläggningar tar stor plats och är därför inte möjliga överallt, särskilt inte i bebyggd miljö. Dammar kan inte heller rena alla typer av föroreningar. Därför behövs yteffektiva reningssystem som kan ge en mer långtgående rening.

Projektet *REWAISE* (ett av fem innovationsprojekt som fått stöd genom ramprogrammet Horisont2020) har tagit fram kunskap avseende metoder för rening och återvinning av regn- och dagvatten på lokal nivå. Syftet med den svenska delen av projektet är att undersöka hur vattenanvändningen kan göras smartare i Lund och Malmö. Det görs genom nya innovativa lösningar som fokuserar på att fastighetsnära lösningar för att återanvända dagvatten och gråvatten kombinerat med lokal odling med näring från urinsorterande toaletter samt digitala metoder. Projektet ingår också i fokusområdena *Innovation och ledarskap för cirkulära system* och *Cirkulära avloppssystem*.

Avslutande kommentar

Fokusområdena är en nedbrytning av Sweden Water Research tre definierade utmaningar: vattenkvalitet, digital transformation och cirkulär ekonomi. Det är därmed intressant att också förstå och analysera hur måluppfyllnaden för fokusområdena fördelas på de tre utmaningarna. Tabellen nedan visar en utvärdering av Sweden Water Research mål inom de åtta fokusområdena 2021-2025, sammanfattade utifrån måluppfyllnad och fördelade på de tre utmaningarna.

Tabell 2. Fokusområdenas måluppfyllnad kopplat till respektive utmaning

Utmaning	Total	Uppnått	Delvis	Inte uppnått
Vattenkvalitet	14	10	4	0
Digitalisering	6	1	4	1
Cirkulär ekonomi	3	0	0	3
Totalt	23	11	8	4

Utmaningen vad gäller **vattenkvalitet** är väl känd och det är logiskt att måluppfyllelsen är hög.

För dricksvatten- och avloppsvattenhantering finns ett tydligt regelverk för verksamheten och även upparbetade rutiner för överlämning av resultat. Resultatet blir en hög måluppfyllelse. I de fall då målet enbart delvis är uppnått, är detta i hög grad relaterat till att metodiken inte är genomförd vid samtliga verksamhetsställen. När det gäller dagvatten det finns inget tydligt regelverk för verksamheten och inga upparbetade rutiner för överlämning av resultat. Ambitionen har varit att genomföra strategiska demonstrationsförsök.

Utvärderingen visar att vi har god kännedom om **digitalisering** sett ur ett tekniskt perspektiv, men att det krävs ytterligare organisatoriska åtgärder för att i praktiken fullt ut kunna utnyttja nya digitaliseringsverktyg. Tidsperioden har även präglats av förändrade krav och förutsättningar, inte minst som ett resultat av det nationella säkerhetsläget. Detta har haft markant påverkan på måluppfyllelsen.

För projekt inom **cirkulär ekonomi** har måluppfyllelsen varit dålig. De tekniska frågorna har hitintills dominerat arbetet, men flera av de utmaningar VA-sektorn står inför kan inte lösas utan att också fokusera på de samhällsvetenskapliga aspekterna. Tekniska lösningar som möjliggör en mer hållbar användning av vatten är utvecklade och finns tillgängliga, men används inte i någon större skala. En orsak kan vara avsaknaden av affärsmodeller som gör det ekonomiskt hållbart att investera i ny teknik. Det är framför allt förekomsten av, respektive avsaknaden av, ekonomiska incitament som förklarar varför utvecklingen kring implementering och ökad användning av hållbara lösningar uteblir. Konsekvensen blir att så länge ingen ställer krav på en

omställning, eller att incitamenten ändras, kommer utveckling inte att ske. Därutöver är vattenförsörjning i allra högsta grad också en politisk och ekonomisk fråga, något som är viktigt att komma ihåg när man tittar på den låga måluppfyllelsen.

Det är naturligtvis också intressant att belysa hur projektfinansieringen har fördelats på olika områden, och på olika vattenslag. Nedanstående tabell är en översiktlig bild av hur projektportföljen för perioden har finansierats inom Sweden Water Research. Den visar projekt som startats, pågått och/eller avslutats under programperioden 2021-2025.

Tabell Översiktlig bild av finansiering av Sweden Water Research projekt under programperioden 2021-2025

Fokusområde	Vattenslag	Budget, SEK	Varav extern finansiering, %
1. Innovation och ledarskap för cirkulära system	Samtliga	30 762 435	53
2. Dricksvatten i ett förändrat klimat	Dricksvatten	39 390 243	12
3. Biologiskt stabila dricksvatten	Dricksvatten	4 649 449	46
4. Det intelligenta ledningsnätet	Samtliga	17 602 882	28
5. Resurssnål och miljövänlig avloppsrening	Avloppsvatten	10 414 334	12
6. Cirkulära avloppssystem	Avloppsvatten	18 567 314	11
7. Rening från organiska mikroföroreningar i avlopp	Avloppsvatten	4 003 000	0
8. Föroreningar i vattenmiljön	Dagvatten	12 117 990	28
Totalt		137 507 647	25

I tabellen syns att finansiering av FUI inom mer etablerade verksamhetsfält för dricksvattenproduktion (område 2) och avloppsvattenrening (område 5, 6 och 7) har varit de områden som har fått störst ekonomiskt stöd. Vid inledningen av perioden startades många projekt med bakgrund i beslutet om Bolmen som huvudvattentäkt och beslut om att bygga en ny regional lösning för avloppsrening, Maxima. Ett nytt avloppsdirektiv på EU-nivå har också påverkat verksamheten.

Extern finansiering är viktig för att säkerställa att våra projekt håller hög kvalitet och har relevans, och att vi kan finansiera projekten långsiktigt. Under perioden har den externa finansieringen i medel varit 25 %. Denna kvot har ökat under perioden och är för pågående projekt 30 %.

De mer komplexa och sammansatta fokusområdena har större andel extern finansiering än de mer specialiserade områdena. FUI-samhället är fortfarande i mångt och mycket uppdelat i silos för olika specialistområden. Samtidigt finns idag önskemål från anslagsgivare om att FUI-verksamhet i högre grad tydligt ska gagna helheten, och inte enbart enskilda projekt eller områden. De nya ramprogrammen med extern finansiering utmanar därmed till att utvidga de traditionella arbetssätten. Sweden Water Research har under utvärderingsperioden aktivt arbetat med att utveckla förmågan att kunna hantera förvaltnings- och sektorsöverskridande projekt.

Sammanfattningsvis har Sweden Water Research och dess ägare god förmåga att medverka till att lösa utmaningar relaterade till våra ägares tekniska vattenutmaningar. Vi har däremot inte varit lika framgångsrika när det kommer till att medverka till att lösa grundläggande organisatoriska eller policyorienterade vattenutmaningar. Dessa problemområden kan inte lösas enbart utifrån traditionella arbetssätt baserat på teknisk utveckling utan vi måste också öppna upp för att mer samhällsvetenskapliga aspekter kan inkluderas i större konsortier. Sweden Water Research har under perioden utvecklat gedigen erfarenhet inom projektledning, projektadministration och samordning av konsortier för att bli bättre rustade på att kunna lösa mer komplexa problemställningar och samtidigt öka möjligheten att erhålla extern finansiering.