

Verksamhetsberättelse för

Projektprogram för FoU inom dricksvattenområdet i Sverige –
från råvatten till tappkran (DRICKS)

DRICKS 2024



Sammanfattning

Forskningen inom DRICKS bedrivs vid medlemsuniversiteten: Chalmers, SLU, Lunds universitet, Uppsala universitet och Linköpings universitet. Detta sker i mycket nära samarbete med branschen. Under 2024 var elva medlemsorganisationer, kommunala vattenproducenter, medlemmar i DRICKS. Även åtta företag och forskningsinstitut samverkar med forskare och vattenproducenter inom DRICKS företagsgrupp.

Forskningen inom DRICKS som finansieras av SVU genomförs till största delen i följande fyra arbetspaket, inom vilka olika projekt och fallstudier genomförs.

- AP1 – Säker vattentillgång
- AP2 – Framtidens vattenverk
- AP3 – Hållbar distribution
- AP4 – Säker vattenkvalitet

Under 2024 har forskningen inom DRICKS fortsatt bedrivits med hjälp av det digitala formatet vilket är ett effektivt och uppskattat arbetssätt, vilket har resulterat i att fysiska möten har minskat i omfattning jämfört med tidigare. Under året har forskning inom arbetspaketen genomförts enligt följande: inom AP1 har arbetat med att utveckla metoder för riskbedömning och beslutsstöd. Inom AP2 har vi undersökt förekomst av kemiska ämnen och barriärverkan i vattenverk. Inom AP3 har vi fortsatt studierna med elektronisk tunga samt analyserat dricksvattenkonsumtion kopplat till läckage. Inom AP4 ligger fokus fortsatt på att utveckla verktyg och metoder för riskbedömningar och säker vattenkvalitet.

För att nå ut med forskningsresultat till branschen och andra forskare har DRICKS anordnat olika möten och evenemang, där vi under 2024 arrangerade fem webinarier för DRICKS medlemmar, tre externa seminarier för medlemmar samt branschen och en workshop vid vilken en vägledning för möjliggörande av forskning har tagits fram. DRICKS har deltagit i externt anordnade möten och konferenser för att sprida kunskap. Under 2024 har 30 studenter genomfört 21 examensarbeten och kandidatarbeten inom hela DRICKS verksamhetsområde – från råvatten till tappkran. Slutligen har det under året publicerats ett flertal vetenskapliga artiklar och tekniska rapporter, och de fem medlemsuniversiteten har gett många kurser med koppling till VA-frågor där målsättningen är att få fler studenter att välja just en VA-inriktning.

Innehållsförteckning

Sammanfattning	1
Innehållsförteckning	2
1. Bakgrund	4
2. Projektprogrammet DRICKS	5
2.1 DRICKS projektbeskrivning	5
2.2 Samverkan med branschen	6
2.3 Användning av Svenskt Vattens medel	8
3. Forskningsresultat	9
3.1 Säker vattentillgång (AP1)	9
3.2 Framtidens vattenverk (AP2)	15
3.3 Hållbar distribution (AP3)	22
3.4 Säker vattenkvalitet (AP4)	29
3.5 Referenser	36
4. Kommunikation och publicering (AP5)	40
4.1 DRICKS seminarier & arrangemang	40
DRICKS-internat 2024	40
DRICKS workshops/seminarium	40
DRICKS-webbinarier	41
Ytterligare konferenser	42
4.2 Vetenskaplig publicering, konferenser, möten, media	42
4.3 DRICKS hemsida och nyhetsbrev	42
Hemsida	42
Nyhetsbrev	43
Övrigt	43
5. Undervisning kopplad till DRICKS	44
5.1 VA-kurser och kursutveckling	44
Kurser vid Chalmers	44
Kurser vid SLU	45
Kurser vid Uppsala universitet	46
Kurser vid Lunds universitet	48
Vattenforskarskolan	51
5.2 Examensarbeten	51
6. Referenser	52

6.1	Vetenskapliga publikationer	52
6.2	Konferensartiklar och andra konferensbidrag	54
6.3	Doktors- och licentiatavhandlingar	56
6.4	Rapporter	56
6.5	Examensarbeten	56

1. Bakgrund

DRICKS startades i slutet av 2003 vid Chalmers, *Projektprogram för FoU inom dricksvattenområdet i Sverige – från råvatten till tappkran*, med finansiering från Svenskt Vatten. Den första projektperioden löpte under fem år, och DRICKS har sedan dess finansierats i treårsperioder (med undantag för ettårsperioden 2021).

DRICKS övergripande målsättning är att den forskning som bedrivs i samverkan med branschen ska ge ökad kunskap och praktiskt tillämpbara resultat som bidrar till en tillförlitlig och säker dricksvattenförsörjning. Arbetet sker genom att i samverkan lösa aktuella och långsiktiga utmaningar i en inspirerande miljö som präglas av hög vetenskaplighet tillsammans med branschen – från råvatten till tappkran. Svenskt Vattens satsning på DRICKS har möjliggjort ett stort antal forskningsprojekt där denna typ av arbete genomförts med finansiering från exempelvis EU, forskningsråd, myndigheter och vattenproducenter.

Dricksvattenbranschen i Sverige står fortsatt inför en rad olika utmaningar idag och i framtiden. Hanteringen av åldrande system - som antingen behöver renoveras eller byggas helt nytt, effekter av klimatförändringarna, nya kemiska föroreningar och spridningsvägar samt ändrade förutsättningar i form av vattenbehov mm. är några exempel på utmaningar. För att på ett effektivt sätt hantera utmaningarna krävs ökad kunskap kring såväl drift av befintliga system, hur dessa kan optimeras och övervakas, samt kunskap om hur nya och mer effektiva riskreducerande åtgärder kan analyseras och prioriteras.

2. Projektprogrammet DRICKS

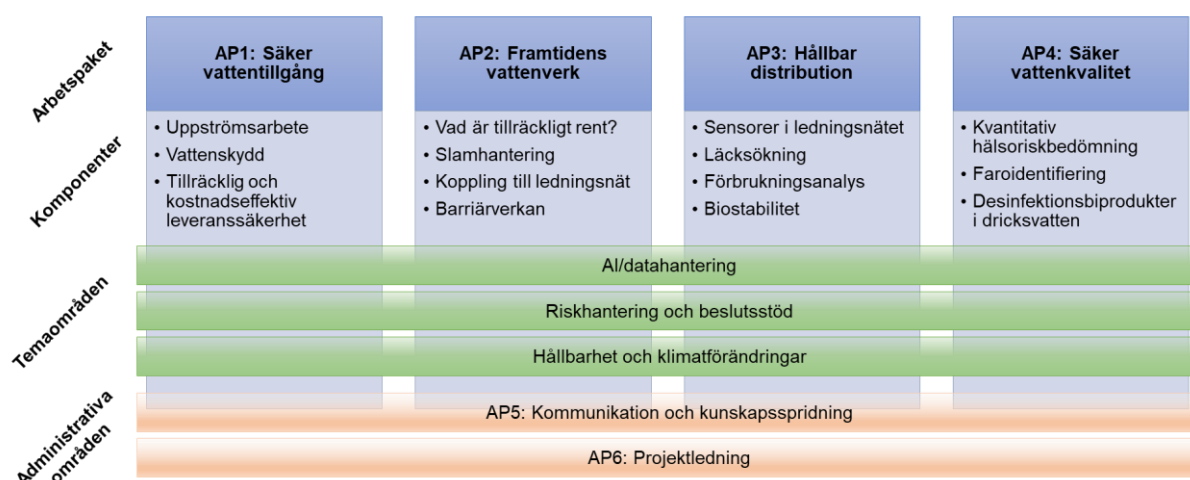
I detta avsnitt beskrivs hur DRICKS olika verksamheter binds ihop genom integrerade projektdelar, vilka finansiärer som bidragit med finansiering och hur de övergripande arbetspaketen samverkar för att täcka de delområden som DRICKS i tidigare program delat in dricksvattenområdet i.

2.1 DRICKS projektbeskrivning

DRICKS arbete har under 2024 varit uppdelat och strukturerat i de delar som illustreras i Figur 1. Det är inom de fyra arbetspaket som listas nedan som forskningsarbetet inom olika projekt bedrivs. Varje arbetspaket är indelat i ett antal olika komponenter för att tydliggöra vilka aspekter arbetet fokuserar på. De tre temaområdena representerar aspekter som är betydelsefulla för samtliga arbetspaket och därför samverkar samtliga arbetspaket kring dessa frågor.

- AP1 - Säker vattentillgång
- AP2 – Framtidens vattenverk
- AP3 - Hållbar distribution
- AP4 - Säker vattenkvalitet

Utöver dessa fyra arbetspaket ingår ytterligare två arbetspaket: Kommunikation och resultatspridning (AP5) och Projektledning (AP6), vilka utgjort stommen för projektledning, administration och kommunikation av DRICKS verksamhet och aktiviteter.



Figur 1. Grafisk illustration av de arbetspaket, komponenter och temaområden som ingått i DRICKS arbete under 2024.

Föreståndare för DRICKS är Thomas Pettersson, vice föreståndare är Andreas Lindhe och Louise Kärrnell är DRICKS projektkoordinator. För varje arbetspaket finns en så kallad arbetspaketsamordnare utsedd, var syfte är att administrera arbetet som genomförs i de underliggande komponenterna. För komponenterna finns det ansvariga personer utsedda som har det direkta projektansvaret för arbetet som utförs.

2.2 Samverkan med branschen

Under 2024 har en innovativ kombination av membrantechnik, skumfraktionering (Uppsala Vatten) och elektrokemisk oxidation (SLU) utvärderats för att avlägsna och slutligen förstöra PFAS, samt för att öka vattenutbyte av membranbehandling på vattenverk.

SLU, tillsammans med Chalmers, Lunds universitet, Göteborgs universitet och Uppsala universitet, har ett samarbete med Uppsala Vatten och Avfall, Sydvatten, Stockholm Vatten och Avfall och Norrvatten inom det Formas-finansierade projektet SIDWater - Hållbara innovativa lösningar för behandling av dricksvatten för storskalig vattenförsörjning och återanvändning av processvatten (Formas 2022-02108). SIDWater-projektet har utfört fyra fallstudier med olika vattenkällor i nära samarbete med dricksvattenleverantörerna, inklusive Fyrisån för konstgjord infiltration (Uppsala Vatten), Bolmen och Vombsjön för konstgjord infiltration (Sydvatten), Mälarvatten nära Järfälla (Norrvatten) och Mälarvatten nära Stockholm (Stockholm Vatten). Under 2024 har övervakningen av de fyra fallstudierna slutförts och data kommer att presenteras 2025. Småskaliga pilottester har utförts med skumfraktionering, pelletsreaktorer och elektrokemisk oxidation och storskaliga pilottester har utförts med nanofiltrerings- och omvänd osmosmembran. Utvärderingen av data från dessa pilottester pågår.

Sedan 2024 samarbetar Chalmers med Göteborg KoV och Uppsala Vatten och Avfall inom det Formas-finansierade projektet - *En behandlingsbarhetssensor för övervakning och behandling av vattenkvalitet* (Formas 2023-01972). I samarbete med Göteborg KoV undersöker detta projekt potentialen för att utveckla optiska sensorer för att informera koagulationsdosering vid reningsverk som är beroende av råvatten från Göta Älv. Sensorn, som för närvarande befinner sig i prototypfasen, kommer att testas vid en mätstation i Göta Älv.

I samarbete med Uppsala Vatten och Avfall undersöker projektet dessutom potentialen för att utveckla optiska sensorer för att bedöma GAK-filtrens kapacitet att avlägsna PFAS. Regelbunden provtagning har utförts under 2024 vid Uppsala Vattens dricksvattenreningsverk och i framtiden kommer en online-sensor att testas.

I samarbete med Norrvatten undersökte Chalmers i ett mastersprojekt potentialen för att utveckla optiska sensorer för att skilja oljeföroreningar från andra källor till organiskt material. Chalmers började analysera en tidsserie av kemiska och mikrobiella data i Trollhättan Energis råvatten som den första delen av ett projekt för att bedöma långsiktiga förändringar i kvaliteten på Göteborgs råa dricksvatten.

Chalmers samarbetade också med Göteborg KoV och ViVAB inom projektet *New Eyes on Old GAC* (Formas 2022-1974). En rapport färdigställdes för ViVAB som redovisade resultaten av deras GAK pilottester.

Norrvatten har återkommande använt MBA och QMRA för att analysera vilka beredningsprocesser som krävs för att reducera mikrobiella hälsorisker till en acceptabel nivå. Vid analys av befintlig process har framkommit att den mikrobiella barriärverkan måste höjas. Användning av QMRA har gett stöd för beslut hur detta kan göras och vilka effekter olika processlösningar får med avseende på

mikrobiell barriärverkan. Under senaste åren har ett intensivt arbete pågått med framtagande av ny processlösning som bland annat kommer innehålla återföring av restströmmar. För att analysera detta har QMRA kombinerats med dynamisk simulering. Det är tidigare DRICKS-forskaren Johan Åström som gjort arbetet med QMRA med stöd av experter på dynamisk simulering från IVL. Resultatet kommer presenteras på den internationella forskningskonferensen WaterMicro 2025 med rubriken ”QMRA-modelling to simplify treatment processes and reduce costs without compromising drinking water health safety in northern Stockholm”. Den process som analyserats är behandling med direkt fällning på ultrafilter (UF), ozon (vid behov), granulärt aktivt kol, UV-desinfektion och dosering av monokloramin. Resultatet visar att den föreslagna beredningsprocessen kommer att leverera ett mikrobiologiskt hälsosäkert dricksvatten, även utan ozon.

Under 2024 har Chalmers arbetat med regionala leveranssäkerhetsanalyser tillsammans med kommunerna i Göteborgsregioner samt med Norrvatten och Stockholm Vatten och Avfall (på uppdrag av rådet för vatten- och avloppssamverkan i Stockholms län – VAS). Syftet har varit att analysera leveranssäkerheten i dricksvattensystemen i de olika regionerna samt ge beslutsstöd kring lämpliga åtgärder för att öka leveranssäkerheten.

Grundvattentäkten Hammarby i Norra Stockholmsåsen har höga halter av PFAS, som överskrider Livsmedelsverkets kommande gränsvärden för dricksvatten. Orsaken till de höga halterna är okänd. PFAS är svårnedbrytbart och har skadliga hälsoeffekter. Detta examensarbete vid Uppsala universitet och SLU i samarbete med Norrvatten syftade till att utvärdera förekomsten och potentiella källor till PFAS i Hammarby. Frågor ställdes kring vilka källor som bidrar till de förhöjda halterna och vilken ytterligare information som behövs för att identifiera huvudkällor. Analyser av grundvatten, litteraturstudier och partikelspårningar med FEFLOW-modell användes. En brandstation och en avfallsdeponi är troliga källor, bekräftade av partikelspårningar och tidigare studier. Verkstadsindustrier, ytbehandling av metaller och andra industrier kan också bidra, men det saknas information om specifika PFAS-utsläpp och mängder. Historiska användningar kan också spela roll. Ytterligare undersökningar av PFAS-användning i industrierna behövs för att säkerställa deras bidrag till utsläppen.

År 2024 firade LTH och Sydvatten 10 år av samarbete och vi fortsätter tillsammans att utforska kopplingar mellan mikrobiell ekologi och reningsprocessen i långsamfilter (AP2). Mycket har hänt under 2024, Tage Rosenqvists doktorandarbete nådde sitt slut tillsammans med tre exjobbprojekt. Svampsamhällen i *schmutzdecken* har analyserats och skumning av ett långsamfilter visade att ett nästan okänt fylum dominerade svampsamhället precis under sandytan. Detta var uppstarten av den nya forskningen som handlar om olika aspekter av cyanobakteriers tillväxt i långsamfilter. Inom detta nya projekt kommer en ny doktorand att fortsätta studierna och undersöka hur cyanobakterier kan påverka tryckfall och även mikrobiell ekologi i *schmutdecken*.

Under 2024 har LTH och Sydvatten tillsammans samarbetade med AnoxKaldenes AB (Lund) i ett antal försök på labbskala för att odla biofilm i MBBR inom olika dricksvattenkontexter. Två MBBR placerades vid Ringsjöverket och slutsatsen var att det är ganska osannolik att MBBR kan ersätta långsamfilter som ett beredningssteg för dricksvatten. Två andra MBBR (labbskala) installerades på Vombverket, både före och efter dosering av monokloramin. Målet var att odla upp biofilm för analys med FISH (fluorescent in-situ hybridization) och i slutet av projektet lyckades vi visualisera olika

viktiga bakteriergrupper i biofilmen (AP3). Denna utveckling av spetskompetens inom mikrobiell ekologi av långsamfilter har också vuxit fram under de senaste åren genom samarbeten med Trollhättan Energi. En undersökning med metagenomik DNA sekvenseringen av ett långsamfilter i pilotskala med ett inkommande ozonbehandlat vatten publicerades under 2024. Under 2024 har vi tittat framåt och utvidgat vårt samarbete under skrivningsprocessen av den nya DRICKS-ansökan och har inkluderat projekt vid Tekniskvattenresurslära (LTH) med fokus på vattenbalans och Sydvattens tillrinningsområden.

LTH och VIVAB började samarbeta 2015, och samarbetet fick förstärkning under 2024 med start av en industrilicentiat till Caroline Schleich genom AquaClim Vattenforskarsholan. Caroline började sina studier med en stor provtagningskampanj för att utforska biofilmbildning i nya rör och nya vattentorn (AP3). Med användning av 16S helgenamplikon och metagenomiksekvensering, flödescytometri och maskininlärning, ska Caroline utforska mikrobiella fenomen som hur en ny biofilm formas i ny infrastruktur och dess påverkan på dricksvattenkvaliteten. Detta projekt får stöd i sekvenseringsanalys från ett MSB-projekt som leds av Totalförsvarets forskningsinstitut och bygger på våra gemensamma studier i VIVABs ledningsnät om hur mikrober i biofilm och dricksvatten påverkas av förändringar i vattenverk som ultrafiltration och när monokloramin togs bort. Med målet att ta fram ett användbart verktyg för visualisering av stora mängder data genererade genom flödescytometri, har vi, tillsammans med Högskolan Kristianstad, bearbetat flödescytometri-data samlade över de senaste 5 åren, och här har Sweden Water Research AB och Norrvatten också varit involverade.

Ett nytt samarbete har byggts upp under 2024 med stöd från Water Wise Societies i projektet "Från analogt till digitalt i mikrobernas värld". Här samlas LTH, Norrvatten, Sydvatten, SyvAB, Livsmedelsverket och Statens veterinärmedicinska anstalt (SVA) med projektledning av Sweden Water Research AB. Vi vill ställa om från långsamma analoga metoder till snabba digitala metoder, som potentiellt kan inkludera maskininlärning i analysen, för kontroll av mikrobiell status i dricksvatten och andra vatten.

2.3 Användning av Svenskt Vattens medel

Under 2024 har Svenskt Vatten Utveckling (SVU) finansierat DRICKS med 2 600 kkr, fördelat på fem universitet: Chalmers, SLU, Lunds universitet, Linköpings universitet samt Uppsala universitet.

En detaljerad ekonomisk redovisning av kostnaderna under 2024 finns i den ekonomiska bilagan (Bilaga 1), vilken endast delges finansiären Svenskt Vatten.

3. Forskningsresultat

I detta kapitel presenteras forskningsresultaten från arbetet inom DRICKS olika arbetspaket under 2024.

3.1 Säker vattentillgång (AP1)

Syftet med detta arbetspaket är att ta fram kunskap och utveckla metoder för att säkerställa tillgången på råvatten av god kvalitet samt uppnå en säker leverans av dricksvatten till konsument. Arbetet är indelat i tre komponenter och nedan beskrivs resultaten från arbetet under 2024. Samordnande för AP1 är Andreas Lindhe.

Komponent 1.1 - Kartläggning av föroreningskällor och deras påverkan på vattentäkter samt identifiering av möjliga åtgärder med hjälp av övervakning och modellering

(komponentledare: Ekaterina Sokolova och Catherine Paul)

Denna komponent handlar om kartläggning av föroreningskällor och deras påverkan på vattentäkter samt identifiering av möjliga åtgärder med hjälp av övervakning och modellering.

Aktivitet 1.1.1: *Undersöka användningen av utsläppsmodeller, baserade på hushållens totala användning av kemikalier, för att studera komplexa blandningar samt spåra enskilda kemikaliers ursprung.*

Mänsklig konsumtion av läkemedel leder till kontinuerliga utsläpp av aktiva läkemedelssubstanser i den akvatiska miljön via avloppsreningsverk. De tidsmässiga och rumsliga mönstren för miljökoncentrationer av läkemedelssubstanser är dock svåra och kostsamma att bedöma med konventionella mätningar. Riskbedömningar baseras därför ofta på data med låg upplösning och kan därmed förbise koncentrationer av miljömässig betydelse. För att hantera denna utmaning utvecklade vi en ny metod som kombinerar utsläpps- och hydrodynamisk modellering för att uppskatta rums- och tidsmässiga koncentrationsvariationer av mer än 500 receptbelagda läkemedelssubstanser. Sjön Ekoln som tar emot vatten från avloppsreningsverket i Uppsala användes som fallstudie. Vår metod visade hög noggrannhet, med 73 % av förutsägelserna inom en faktor 10 och 99 % inom en faktor 100 av fältmätningarna. Våra resultat visar således att utsläppsmodellering kombinerad med rums- och tidsmässig modellering möjliggör att förutsäga miljökoncentrationer av läkemedelssubstanser med hög noggrannhet, direkt från data om läkemedelskonsumtion. Vidare visade vår studie att koncentrationerna varierade avsevärt över tid och rum i sjön. Detta påverkar direkt riskhantering och övervakning, eftersom miljökoncentrationer kan skilja sig åt med flera tiopotenser beroende på tidpunkt och plats för provtagning. Den vetenskapliga artikeln är i slutfasen av förberedelserna och kommer att skickas in till tidskriften under första halvan av 2025.

Aktivitet 1.1.2: *Kemisk analys (target-screening) av ett brett spektrum av oönskade kemiska ämnen i in- och utgående vatten i dagvattendamm uppströms dricksvattenintag samt råvatten för dricksvatten – genom target, suspect och non-target screening. Screening kommer också att göras av in- och utgående vatten från utvalda avloppsreningsverk samt recipient i syfte att uppskatta påverkan på recipienter/vattentäkter.*

Ett mastersarbete (Eriksson 2023) är publicerat och två vetenskapliga publikationer är planerade om påverkan från oönskade kemiska ämnen, som slinker igenom dagvattendamm, på recipient och

nedströms råvatten. De två manusen är nästan färdiga, och blir förhoppningsvis publicerade under 2025 i stället för december 2024 som vi ursprungligen hade tänkt.

Två rapporter (Ahrens et al. 2024 och Malnes et al. 2024) har färdigställts och publicerats om påverkan från oönskade kemiska ämnen, som ej renas bort i avloppsreningsverk, på recipient som används som råvattentäkt.

Syftet med Ahrens et al. (2024) var att screena för PFAS och bekämpningsmedel i reningsverksslam och inkommande/utgående kommunalt avloppsvatten samt att bedöma påverkan på recipienten nedströms reningsverk för 10 utvalda anläggningar i Sverige. PFAS detekterades i alla slam-, avlopps- och ytvattenprov. Totalt sett var avskiljningsgraden av Σ PFAS låg i reningsverken med ett medelvärde på 11%. Σ PFAS halterna ökade i genomsnitt med 17% nedströms reningsverken.

Miljökvalitetsnormens (EQS) värde på 0,65 ng/L för den godkända genomsnittliga årliga koncentrationen (AA-EQS) av PFOS i inlandsytvatten i EU:s ramdirektiv för vatten (WFD) överskreds i alla ytvatten. Det utgående vatten från avloppsreningsverken screenades också för bekämpningsmedel. Av 26 analyserade substanser detekterades 11. AMPA, diuron och imidaklopid detekterades i 100% av proverna. Imidaklopid, som är ett särskilt förorenande ämne (SFÄ), överskred det nationella AA-EQS-värdet på 5 ng/L i alla prover. Ingen av de andra substanserna överskred sitt EQS.

Syftet med Malnes et al. (2024) var liknande. Förekomsten av utvalda ämnen från vattendirektivets bevakningslista (n=21) undersöktes i utgående avloppsvatten och nedströms i sju svenska avrinningsområden. Många andra organiska mikroföreningar inkluderades också (läkemedel, personliga hygienvårdprodukter, industrikemikalier). Många ämnen som t.ex. sulfametoxazol, trimetoprim, venlafaxin och flukonazol, detekterades konsekvent nedströms reningsverk. Höga nivåer av vissa ämnen, särskilt tolytriazol, upptäcktes i avloppsvatten från reningsverk, tillsammans med vanliga läkemedel som tramadol och metoprolol. 1,4-dioxan detekterades i alla undersökta avrinningsområden. Detektion av 6PPD och 6PPD-kinon i ytvatten från vägavrinning, väcker oro på grund av deras toxicitet för vissa vattenlevande organismer. Studien understryker behovet av mer frekvent och omfattande övervakning.

Aktivitet 1.1.3: Vattnets mikrobiella sammansättning studeras, och källspårningstekniker används tillsammans med statistik och maskininlärning för att analysera kopplingen mellan indikatorbakterier (E. coli, enterokocker), mikrobiella fingeravtryck (dvs. flödescytometri – online och i labb – och DNA-sekvensering – amplikon, helgenomsekvensering) samt miljöfaktorer (t.ex. temperatur och säsongsvariationer).

Under 2024 fortsatte samarbetet mellan LTH, Göteborgs universitet, Helsingborgs stad, Malmö stad, VASYD, NSVA och med projektledning hos Sweden Water Research AB. Den mikrobiella sammansättningen i både vatten och sediment undersöktes, och källspårningstekniker har använts på både enskilt *E. coli* och profiler av den totala bakteriella sammansättningen i sediment och vatten med hjälp av DNA-sekvensering (amplikon, helgenomsekvensering). Det som har varit mest givande under 2024 var att börja kombinera flödescytometri "fingeravtryck" med andra abiotiska faktorer som vind, vågor och nederbörd genom olika maskininlärningsalgoritmer. Det har varit ett givande samarbete mellan Högskolan Kristianstad, Teknisk vattenresurslära och Teknisk mikrobiologi vid LTH.

Arbetet med biofilm, virulens och antibiotikaresistens i levande *E. coli* från sediment inom doktorandprojektet av Isabel Erb är nu avslutat och har resulterat i en publikation i FEMS Microbes (Erb et al. 2024). Vi har visat att indikatorbakterier *E. coli*, isolerade från sediment, uppvisar likheter med olika kända patogena *E. coli*-stammar, och de isolerade bakterierna var genetiskt diversifierade. Helgenomsekvensering upptäckte många gener kopplade till virulens och antibiotikaresistens. Dock visade endast en av de isolerade resistens när vi testade i laboratoriet. Det är en viktig insikt, särskilt när man enbart använder DNA-sekvensbaserad information för att bedöma mikrobiella risker.

Vi har också beskrivit hur olika strategier med DNA-sekvensering av bakteriesammansättning i sediment kan användas i källspårning, och detta arbete har nu publicerats (Frank et al. 2024). Under 2024 har DNA-sekvensering av totalt 61 olika sedimentprov jämförts med koncentrationen av *E. coli* samt DNA-sekvenser från så kallade "avlopps bakterier". Det här arbetet har skickats in till Microorganisms och förhoppningsvis blir det publicerat under 2025.

Det har varit förseningar med publikationen om hur flödescytometri kombinerat med rutinanalys och maskininlärning kan användas för att övervaka mikrobiell vattenkvalitet på grund av ett nytt projekt (FARMWISE, <https://www.farmwise-project.eu>) som använder samma tekniker och påbörjades under 2024. Fördelen har varit möjligheten att testa tekniken i kontexten av jordbruksbevakning. Den vetenskapliga publikationen är nu planerad till 2025 och manuskriptet är nästan färdigt. Vi har visat att med hjälp av maskininlärning kan nivån av *E. coli* i badvattnet förutsägas baserat på data från flödescytometrianalys.

Doktoranden Isabel Erb presenterade sitt arbete med online-flödescytometri, kopplat till online-mätningar av *E. coli* inklusive planerad analys med vädet o.s.v. genom maskininlärning hos Sweden Water Research AB för samarbetspartners i december 2024, eftersom det inte fanns möjlighet att presentera inom DRICKS under årets sista månad. Arbetet går framåt och projektet har visat att när man kombinerar online-mätningar från flödescytometri och *E. coli* med andra stora datainsamlingar (vinden, parametrar som beskriver vågor) blir förutsägelserna starkare. Publicering förväntas i slutet av 2025 eller början av 2026.

Aktivitet 1.1.4: Processbaserad vattenkvalitetsmodellering och databaserad modellering används för att studera transporten av föroreningar inom ett avrinningsområde och en vattentäkt.

Våra resultat från modelleringen av spridningen av PFAS i Ekoln publicerades (Sokolova et al. 2025) och beskrivs i korthet nedan. PFAS återfinns ofta i både grundvatten och ytvattenkällor över hela Sverige och utgör en utmaning för dricksvattenförsörjningen. Sjön Ekoln ligger söder om Uppsala och är ett bassängområde i Mälaren. Syftet med denna studie var att simulera transport och spridning av PFAS i Ekoln under perioden 2017–2020 med hjälp av tredimensionell hydrodynamisk modellering. De simulerade vattentemperaturerna överensstämde med de observerade vattentemperaturerna. De simulerade PFAS-koncentrationerna stämde i allmänhet överens med de tillgängliga mätningarna, men bristen på mätningar gjorde jämförelsen osäker. Modellresultaten beskrev de säsongsmässiga variationerna av PFAS i Ekoln vilket informerar driften av dricksvattenverken nedströms. Modellresultaten bekräftade att huvudinflödet till sjön – Fyrisån – är den främsta källan till PFAS i sjön Ekoln, vilket understryker vikten av att minska denna källa för att säkerställa en trygg dricksvattenförsörjning i Stockholmsregionen. Regelbunden övervakning av PFAS i Fyrisån behövs, och ytterligare mätningar i Ekoln skulle underlätta vidare modellutveckling.

Vårt arbete med att bedöma påverkan av framtida socio-ekonomiska förhållanden och klimatförändringar på mikrobiella risker i vattentäkten är sammanställt och inskickat till en tidskrift, och vi arbetar med revideringar utifrån granskarnas kommentarer. Klimat- och markanvändningsförändringar påverkar våra vattenresurser. Dessutom kan samhällsutvecklingen ge både positiva och negativa effekter på framtida vattenkvalitet. Beslut som fattas idag kommer därmed att påverka morgondagens vattenkvalitet. I denna artikel tar vi upp frågan om framtida mikrobiell vattenkvalitet genom att kombinera Representative Concentration Pathways och Shared Socio-economic Pathways med prognoser om samhällsutveckling, antingen nedskalade till en lokal nivå eller bedömda av lokala organisationer. Vi använder Vombsjön (som förser cirka 330 000 personer med dricksvatten) för att illustrera vårt nya angreppssätt att bedöma påverkan av klimatförändringar och samhällsutveckling på framtida mikrobiell vattenkvalitet. Angreppssättet inkluderar norovirus, E. coli (som en indikatororganism) och Cryptosporidium. Vidare kombinerar vi hydrologisk och hydrodynamisk spridningsmodellering för att simulera framtida vattenkvalitet i tillflödena och vid vattenintaget. Resultaten visar att klimatförändringar kommer att påverka den framtida vattenkvaliteten negativt. Dock kan vi även se att samhällsutvecklingen har en betydande påverkan på mikrobiell vattenkvalitet och potentiellt kan motverka ökningar i mikrobiella koncentrationer orsakade av klimatförändringar. Därför måste vattenresursförvaltningen anpassas till både framtida klimat och samhällsutveckling.

Inom ett examensarbete användes mätningar från aktivitet 1.1.3 som underlag för spridningsmodellering av E. coli längs Helsingborgs kust (Gudmundsson 2024). Det finns problem med förhöjda halter av E. coli vid stränderna i Helsingborg, vilket indikerar möjlig närvaro av patogener. I en studie användes modellen MITgcm för att simulera spridningen av E. coli från sediment och avloppsutlopp längs Helsingborgs kust. Resultaten visade att E. coli från sediment kunde nå stränderna, men inte i tillräckligt höga halter för att påverka rekreation. Däremot hade avloppsutloppet i Helsingborg en större påverkan med koncentrationer som översteg 100 cfu/100 ml, vilket kräver vidare undersökningar för att bekräfta och förfina resultaten.

Komponent 1.2 - Analys och utvärdering av vattenskydd för långsiktigt säker dricksvattenförsörjning

(komponentledare: Andreas Lindhe)

Denna komponent är fokuserad på aspekter kopplade till riskbedömningar i arbetet med vattenskyddsområden och hur samhällsekonomiska analyser kan genomföras i syfte att visa på för- och nackdelar med vattenskyddsåtgärder.

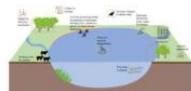
Aktivitet 1.2.1: Påverkansfaktorer, tjänster och risker kopplade till vattentäkter.

Under de senaste åren har arbetet inom DRICKS bland annat fokuserat på hur riskbedömningar som görs av vattentäkter kan bli mer heltäckande och även beakta övriga nyttor som vattentäkterna ger upphov till för samhället. Utifrån principerna för ekosystemtjänster har konceptet med vattensystemtjänster tagits fram (Gärtner et al. 2022). Vattensystemtjänster kan exempelvis vara vattenförsörjning till boskapsdjur, vatten för bevattning, rekreation, m.m. Under 2024 har bland annat ett examensarbete genomförts i syfte att undersöka hur vattensystemtjänsterna kan visualiseras och kommuniceras i olika sammanhang, till exempel då en riskbedömning genomförs. Andreasson & Cederqvist (2024) genomförde riskbedömningar för en yt- och en grundvattentäkt och utvärderade hur vattensystemtjänsterna samt kopplingen mellan olika riskkällor och

vattensystemtjänsterna kan presenteras. I Tabell 1 presenteras en sammanställning av de olika visualiseringsalternativen som utvärderas i examensarbetet.

Som del av arbetet under 2024 påbörjades även en fallstudie där vattensystemtjänsterna används som utgångspunkt i syfte att analysera riskerna för en grundvattentäkt. Med hjälp av en samhällsekonomisk kostnads-nyttoanalys utvärderas även de totala kostnaderna och nyttorna som restriktioner i markanvändningen ger upphov till. Syftet är att visa och utvärdera hur kostnads-nyttoanalys kan användas för att utvärdera skyddsåtgärder och ett viktigt underlag i arbetet är resultaten från komponent 1.2.2. Studien kommer att slutföras och publiceras under 2025.

Tabell 1. Sammanställning av olika sätt att visualisera vattensystemtjänster (Andreasson & Cederqvist, 2024).

Visualization	Description	Example
Icons	Appropriate icons were made with PowerPoint to communicate the identified WSS in this study. The frame around the icons were coloured in the same way as Boverket colour the ES (Boverket, n.d.-a).	
Cross section	A cross section of the two water sources were made in PowerPoint and the icons of the WSS were placed in the cross section to communicate where the services exist.	
Map with pictures	Data from herkules.slu.se was used as background layer in ArcMap to make a map of the areas. Pictures of the WSS were then taken from the site visit and put into the map to provide an understanding of how the WSS can look like and where they are located.	
The importance of the WSS	The importance of the WSS were visualized with a bar chart with an estimation of how often the WSS are used.	

Under 2024 har även en vetenskaplig publikation slutförts som beskriver hur vattenskyddsområden för grundvattentäkter kan beräknas med hjälp av så kallad Analytical Element Model (AEM). Modellen är enklare och kräver typiskt mindre data jämfört med en numerisk grundvattenmodell, men kan ge mer information jämfört med då uppehållstider beräknas utan modellering. Huvudsyftet med arbetet har varit att ta hänsyn till osäkerheter i underlagsinformationen och illustrera hur dessa osäkerheter påverkar framräknade skyddszoner. Artikeln har skickats in för granskning.

Aktivitet 1.2.2: Människors kunskap, attityder och värdering av dricksvatten.

Arbetet inom denna komponent har under 2024 fokuserat på att slutföra analysen och publicera resultaten från en tidigare genomförd värderingsstudie som dels kartlade vad svenska dricksvattenkonsumenter är villiga att betala för att undvika olika typer av störningar i dricksvattenförsörjningen, dels människors kunskap och attityder. Resultaten från den första delen av studien är avsedda att användas i kostnads-nyttoanalyser då effekten av olika säkerhetshöjande åtgärder utvärderas och ställs i relation till dess kostnader. Värderingsstudiens resultat visar vad hushållen är villiga att betala för att undvika (i) ett totalt avbrott i dricksvattenförsörjningen, (ii) situationer då vattnet måste kokas för att kunna användas som livsmedel, samt (iii) situationer då det råder vattenbrist och bevattningsförbud och liknande restriktioner införs.

Resultaten från den andra delen av studien beskriver bland annat vilken kunskap svenska dricksvattenkonsumenter har om dricksvattenförsörjningen samt hur oroad de är och vilka åtgärder de själva vidtagit för att trygga tillgången till vatten. Exempelvis visar resultaten att 60 % av svenskarna inte har kännedom om vilken vattentäkt deras dricksvatten kommer ifrån och endast 20 % av småhusägarna och 3 % av de som bor i flerbostadshus har kännedom om va-taxan i deras kommun.

Resultaten från de olika delarna av arbetet kommer att publicera i en vetenskaplig publikation samt en SVU-rapport. Båda publikationerna är inskickade och under granskning.

Komponent 1.3 - Kartläggning av kravnivåer och tillämpning av metoder för bedömning av leveranssäkerhet

(komponentledare: Andreas Lindhe och Olof Bergstedt)

Denna komponent fokuserar på hur leveranssäkerheten i ett dricksvattensystem kan analyseras och användas för att utvärdera möjliga åtgärder. Med leveranssäkerhet menas förmågan att leverera dricksvatten i tillräcklig mängd och utan avbrott.

Aktivitet 1.3.1: Leveranssäkerhetsnivåer

Att dricksvattenförsörjningen ska vara tillförlitlig och säker innebär att såväl kvaliteten som tillgången på dricksvatten behöver säkras. När det gäller tillgången till vatten och specifikt leveranssäkerheten, det vill säga förmågan att leverera dricksvatten utan avbrott, finns det ingen entydig kravbild. Lagen om allmänna vattentjänster (2006:412) innehåller till exempel inte några krav gällande leveranssäkerhet. I Svenskt Vattens publikation P114 konstateras att det inte finns några generella krav gällande leveranssäkerhet i dricksvattenförsörjningen definierade i lagstiftningen. Vidare framhålls att kommunens ledning därför bör göra ett medvetet ställningstagande gällande vilken leveranssäkerhet som dricksvattenförsörjningen ska ha. En beskrivning av hur leveranssäkerheten i ett dricksvattensystem kan presenteras och tolkas finns redovisad SVU-rapporten av Lindhe (2024) som är ett resultat av arbetet inom DRICKS.

Planen var att under 2024 även skicka ut en enkät om krav och mål gällande leveranssäkerhet till va-huvudmännen i Sverige. Eftersom arbetet inom aktivitet 1.2.2 blev mer omfattande än planerat gjordes en omprioritering och enkäten kommer i stället att genomföras vid en senare tidpunkt.

Aktivitet 1.3.2: Angreppssätt för att analysera leveranssäkerhet.

Under 2024 har arbetet fortskridit med att vidareutveckla den metod för leveranssäkerhet som sedan tidigare tagits fram inom DRICKS. En viktig del av detta arbete är de ytterligare fallstudierna tillsammans med kommunerna i Göteborgsregionen (bl.a. genom projektet *Stärkt vattenförsörjning i Göteborgsregionen – SVAR*) samt en regional analys av dricksvattenförsörjningen i Stockholm tillsammans med Norrvatten och Stockholm Vatten och Avfall (på uppdrag av rådet för vatten- och avloppssamverkan i Stockholms län – VAS). Ett gemensamt syfte för dessa arbeten har varit att visa hur regionala analyser kan genomföras där olika typer av beroenden kan beaktas i leveranssäkerhetsanalyser, och hur det därmed även är möjligt att utvärdera effekten av säkerhetshöjande åtgärder och visa hur exempelvis åtgärder i en kommun eller del av ett system kan ge positiva effekter även i andra kommuner eller delar av systemet. En SVU-rapport (Lindhe, 2024) har publicerats för att visa hur metoden kan användas och vikten av att beakta leveranssäkerheten

på ett strukturerat sätt. Resultaten från detta arbete har även presenterats vid olika tillfällen, exempelvis den nationella dricksvattenkonferensen 2024, för att sprida kunskapen inom VA-branschen.

3.2 Framtidens vattenverk (AP2)

Arbetet som bedrivits inom AP2 under 2024 beskrivs nedan för de ingående komponenterna. Detta AP handlar om vad som behövs i framtidens vattenverk för att leverera ett hälsosamt och kvalitetssäkrat dricksvatten genom att utveckla hållbar, flexibel och behovsstyrd processdesign med hänsyn till påverkan av klimatförändringar. Analys sker från virus och bakterier till PFAS. Beredning av dagvatten, regnvatten och vattenåteranvändning inkluderas med relevans till processdesign samt hur vattenkvaliteten och säkerheten påverkas när olika typer av vatten behövs. Samordnande för AP2 är Catherine Paul.

Komponent 2.1 – Vad är tillräckligt rent för ett hälsosamt och biostabilt dricksvatten?

(komponentledare: Kate Murphy och Catherine Paul)

Aktivitet 2.1.1: Bygga en matematisk modell om biofilmutveckling i långsamfilter med parameter relaterade till klimatförändringar (t.ex. temperatur).

Denna aktivitet fortsätter utvecklingen av en matematisk modell för biofilm i långsamfilter, vilket är beskrivet i en publikation (Diehl et al. 2025). Fortsättningen motiveras av att det finns ytterligare en publikation som har tagits fram inom det givande samarbetet med LTH Matematikcentrum, och arbetet med den fortsätter under 2025.

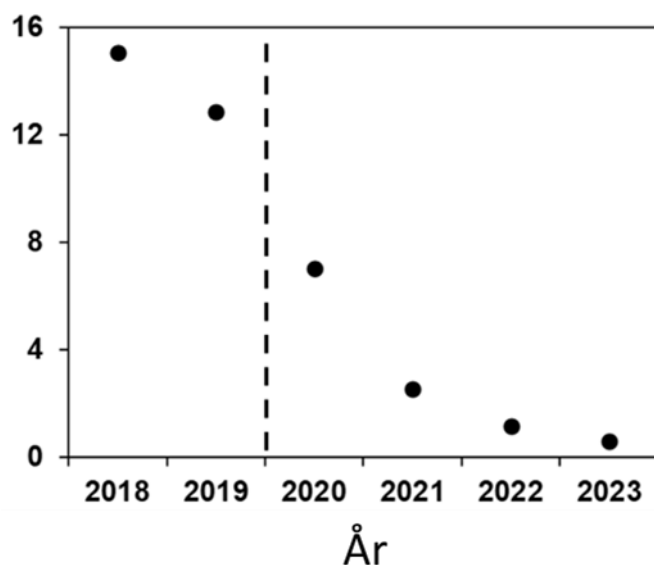
Aktivitet 2.1.2: Med flödescytometri beskriva säsongsvariation av mikrobiella samhällen i vattnet producerade av långsamfilter.

Tidigare forskning med flödescytometri visade att varje långsamfilter i ett reningsverk hade en unik bakteriell samansättning i utflödet från filtren. Under 2024 genomfördes DNA sekvensering av 18 olika *schmutzdecke* prover. Det var ingen överraskning att varje *schmutzdecke* var unik. Analys av DNA 16S rRNA helgenamplikon sekvensering med coda4microbiome, tillsammans med kvantifiering av bakterier genom qPCR, visade att filter med högt tryckfall hade större mängder av cyanobakterier i sanden. Resultaten presenterades i en presentation (L2.1.2) och en rapport av Iria Feijóo Rey inom ramen för hennes mastersarbete (Feijóo Rey, 2024)

Aktivitet 2.1.3: Undersöka kvantitativt med flödescytometri hur monokloramin påverkar den bakteriella samansättningens stabilitet på lång sikt (5 år).

En ny datavisualiseringsmetod baserad på 2D-histogramdata, den så kallade flödescytometri-fingeravtryck, har utvecklats med hjälp av fem års flödescytometridata från tiden före och efter att monokloramin togs bort. Metoden visar när den bakteriella sammansättningen i vattnet har anpassat sig till en stor förändring i beredningsprocessen (desinfektion) i vattenverket. Detta görs genom att klustra data från 2D-histogram med liknande histogram och jämföra hur mycket klustren skiljer sig från varandra över tid (Figur 2). Under 2024 har dataanalysen varit intensiv. I slutskedet insåg medförfattarna att tolkning med flera statistiska metoder var nödvändig och det har försenat inskickningen av den till den vetenskapliga tidskriften. Den här aktiviteten är kopplad till Aktivitet 3.4.3 och är ett samarbete mellan LTH, Högskolan Kristianstad och VIVAB. Inskickning av

manuskriptet (L2.1.3) är nu planerad innan sommaren 2025. Vissa delar av arbetet presenterades i oktober vid den nationella dricksvattenkonferensen i Karlstad.



Figur 2. När separationsgrad (siffror på y-axeln) är lägst kan det tolkas som att det mikrobiella samhället har jämnats ut över hela distributionsnätet. Detta visar också att det tog ungefär 2 år efter att VIVAB slutade med monokloramin innan man kunde säga att vattnet hade uppnått biologisk stabilitet.

Aktivitet 2.1.4: Beskriva det mikrobiella samhället i långsamfilter och andra biofiltrationsprocesser med flödescytometri, DNA sekvensering och odling av särskilda bakterier (inklusive cyanobakterier).

I denna aktivitet har mycket varit på gång eftersom Tage Rosenqvist skulle disputera tidigt 2025 och alla leverabler är färdiga. Mikrobiella samhällen i ett pilotskale-långsamfilter anpassade sig till det inkommande vattnet som hade behandlats med ozon. Flera enzymer var inriktade på metabolismen av molekyler med en eller två kolatomer (t.ex. formaldehyd), och det fanns inga indikationer på ökade mängder av antimikrobiell resistens som en konsekvens av den nya behandlingsmetoden. Denna studie är den största hittills som har använt metagenomisk DNA-sekvensering för att analysera långsamfiltrets schmutzdecke och accepterades av en vetenskaplig tidskrift under 2024, med publiceringsdatum 2025 (Rosenqvist et al. 2025a, L2.1.4a). Projektet var ett samarbete mellan Trollhättan Energi och Miljö samt LTH, med stöd från DRICKS medlemsmedel.

Studien av svampsamhällen visade att svampen varierade beroende på hur gammal sanden var i en jämförelse av tre olika långsamfilter. Det äldsta filtret dominerades av okända svampar inom fylum Rozellamycota och vi kan endast spekulera i hur, eller om, de bidrar till funktionen i detta beredningssteg. Den här studien är den första att undersöka svampsamhället i långsamfilter och skickades in till en vetenskaplig tidskrift under 2024, med publiceringsdatum tidigt 2025 (Rosenqvist et al 2025b, L2.1.4c). Projektet var ett samarbete mellan Sydsvatten och LTH, med stöd från DRICKS medlemspengar.

Två masterprojekt bidrog till arbetet inom denna aktivitet, båda med presentationer och rapporter i slutet av studietiden (L2.1.4b, d). Moving Bed Biofilm Reaktor (MBBR), som tidigare endast använts vid avloppsrening, testades i ett småskaligt laborieförsök vid Ringsjöverket (Åkesson, 2024).

Resultaten visade att tekniken inte fungerade alls och bekräftade att MBBR inte kan ersätta långsamfilter som ett reningssteg. Studien gav dock många lärdomar och ett nytt försök kunde göras i större skala och under längre tid än vad som är möjligt i ett vanligt mastersarbete. Detta projekt var ett samarbete mellan Sydvatten och LTH, med stöd från DRICKS medlemspengar.

Provtagning av sand från 20 olika långsamfilter visade att de bakteriella samhällena var unika för varje filter (Feijóo Rey, 2024). Genom kvantifiering av bakterier i sanden med qPCR och analys av samhällena med helgenamplikon 16S rRNA DNA-sekvensering, upptäckte vi att ökade mängder cyanobakterier kunde förklara tryckfallet över sanden. För att överleva i den näringsfattiga miljön i ett långsamfilter schmutzdecke behöver cyanobakterier vara adapterade på något sätt och försök att odla dem resulterade i tre olika organismer som kunde växa i laboratoriet. Helgenomsekvensering visade att dessa cyanobakterier är mycket ovanliga och de första av sin klass som har odlats. De växer långsamt (över 30 dagar) och kommer med många utmaningar (kanske för både forskare och vattenverkspersonal). De är mycket klubbiga och svåra att räkna eftersom de växer i långa trådar som liknar spaghetti (Figur 3). Detta projekt är ett samarbete mellan Sydvatten och LTH, med stöd från DRICKS medlemspengar och fortsätter som ett doktorandprojekt.



Figur 3. En bild från ljusmikroskop av de nya cyanobakterierna. Man kan se hur svårt det är att räkna hur många individer som finns – en riktig mikrobiell utmaning.

Aktivitet 2.1.5: Utveckla en ny sensorbaserad metod för att mäta mikrobiell återväxtpotential med hjälp av syreförbrukningsprofiler, och jämföra med mätningar av fluorescerande NOM och assimilerbart organiskt kol (AOC).

Har beskrivits i licentiatavhandlingen "Sensor-based Methods for an Improved Understanding of Biological Water Treatment" skriven av Aina McEvoy och publicerad av Chalmers i februari 2024. Hennes artikel har accepterats och kommer att publiceras 2025 i tidskriften ACS ES&T Water.

Aktivitet 2.1.6: Undersöka långsiktiga förändringar i den kemiska och mikrobiella kvaliteten på råvatten från Göta Älv.

Aktivitet 2.1.6 undersöker långsiktiga förändringar i den kemiska kvaliteten på råvatten från Göta Älv. Ett kandidatprojekt utlystes 2024 och lyckades attrahera 12 studenter som under våren 2025 ska analysera 24 års data från Göta Älv och reservvattenkällan Delsjön i ett samarbete med Kretslopp och Vatten. Huvuddelen av aktiviteten har därför flyttats fram till vårterminen 2025.

Komponent 2.2 - Omvärlds- och behovsanalys av slamhantering i vattenverk

(komponentledare: Lena Blom)

Aktivitet 2.2.1: Omvärldsbevakning och behovsanalys. Samverka och ta del av kunskap tillsammans med nätverket för vattenverksslam/mull och Svenskt Vatten för att utreda behoven.

Denna aktivitet hade ingen leverabler planerade under 2024.

Komponent 2.3 - Beredningens inverkan på distributionsnätets kemiska och mikrobiologiska processor

(komponentledare: Catherine Paul och Kate Murphy)

Aktivitet 2.3.1: Metagenomisk- och flödescytometrisk analys av den mikrobiella vattenfloran belägna på olika avstånd från vattenverket och från olika distributionsnät i södra Sverige (med koppling till AP3 3.4.1).

Arbetet inom denna aktivitet går framåt och ett utkast till en vetenskaplig artikel finns. På grund av personalförändringar vid LTH/Teknisk vattenresurslära har tolkningen av data reviderats. Arbetet har nu inriktats på att koppla informationen från flödescytometridata till olika MAGS (metagenomic assembled genomes) för att öka förståelsen av betydelsen av olika delar i flödescytometri-fingeravtryck. Vi fortsätter jobba under 2025 och hoppas att avsluta projektet med en vetenskaplig publikation 2026. Detta projekt är ett samarbete mellan FOI (Totalförsvarets forskningsinstitut) och LTH. Specifika leverabler inom denna aktivitet är inte levererade.

Aktivitet 2.3.2: Utveckla FISH (fluorescence in situ hybridization) och andra metoder för visualisering av biofilm i distributionsnätet med olika typer av desinfektion (också i AP3 3.4.4)

Ett masterprojekt (Fuchs, 2024, L2.3.2) har testat olika oligonukleotider för att visa hur grupper av bakterier placerar sig i biofilmen, både med och utan monokloramin. DNA-sekvensering av biofilm från rör i VIVABs distributionsnät identifierade bakterier som bidrar till nedbrytningen av ammoniak, en kemisk komponent i monokloramin. Mikroskopimetoderna är välutvecklade, eftersom samma grupper av bakterier är kända från nitrifikationsprocesser vid avloppsreningsverk. Med hjälp av en laboratorieskala MBBR odlade vi många prover av biofilm i kontakt med PE (polyeten, samma plast som används i rören hos VIVAB). Olika reaktorer installerades i Vombvattenverk för att exponera biofilmen för "nästan färdigt" dricksvatten i full skala, både med och utan monokloramin. Det tog längre än väntat men i slutet av projektet lyckades vi ta en bild (Figur 10, Aktivitet 3.4.4) av alla bakterier vi förväntade oss att hitta, i en 5 månader gammal biofilm i kontakt med monokloramin. Detta projekt var ett samarbete mellan Sydvatten och LTH, med stöd från DRICKS medlemspengar.

Komponent 2.4 - Kemisk rening och mikrobiologiska säkerhetsbarriärer

(komponentledare: Lutz Ahrens och Catherine Paul)

Aktivitet 2.4.1: Managed Aquifer Recharge (MAR) system

Vattenprovtagning av inflöde och utflöde från MAR-system (Managed Aquifer Recharge) har genomförts i Uppsala (Uppsala Vatten) och Vomb (Sydvatten) under en period av 12 månader. Säsongala förändringar av PFAS- och DOC-halterna har identifierats och isotopprofiler (endast i

Uppsala) har använts för att bättre förstå transportprocessen för PFAS. Arbetet har presenterats av Tabea Mumberg vid DIOXIN-konferensen, 44th International Symposium on Halogenated Persistent Organic Pollutants (POPs), Singapore, 29 september till 3 oktober 2024 (L2.4.1).

Aktivitet 2.4.2: Undersöka hur NOM-kvalitet och -kvantitet i dricksvatten påverkas av ozon- och aktivt kol- (GAK-) behandling, med hjälp av data från avslutat pilotskaleförsök på Görvälnverket.

Det har bestämts att arbetet om pilotskaleförsök på Görvälnverket inte ska publiceras eftersom innehållet överlappar för mycket med redan publicerade artiklar. Det går dock att läsa alla resultaten i doktorsavhandlingen från Malin Ullberg som rapporterades i verksamhetsberättelsen 2022.

Aktivitet 2.4.3: Undersöka med hjälp av maskininlärning kopplingar och/eller korrelationer mellan online-flödescytometri samt onlinemätning av *E. coli* och enterokocker (*Coliminder*).

Denna aktivitet delas med Aktivitet 1.1 (AP1). Vi har visat att det är möjligt att förutspå nivåerna av *E. coli* i badvatten genom maskininlärning, enbart baserat på data från flödescytometri-analys. Ett manuskript är nästan färdigt för inskickning under 2025. Arbetet går framåt och projektet har visat att det är möjligt att förutspå koncentrationen (genom kvantifiering med Colilert18 (L2.4.3)) och dess aktivitet (genom mätningar med Coliminder) genom att kombinera flödescytometri och *E. coli*-mätningar med maskininlärning. Att inkludera andra stora datasamlingar (vinden, parametrar som beskriver vågor) förbättrade förutsägelsen. Publicering förväntas i slutet av 2025 eller början av 2026.

Aktivitet 2.4.4: DNA och RNA metagenomisk sekvensering av adenovirus, enterovirus och rotavirus samt andra virus för att undersöka vilka virus som hittas i ingående och utgående vatten från olika vattenverk samt kvantifiering av dessa med realtids PCR.

Inkommande och utgående vatten har samlats in från 6 olika vattenverk i Sverige under perioden av ett år. Dessa data har under årets sammanställts i form av en avhandling samt skrivits ihop i ett manuskript som submittats för publikation. En doktorandsavhandling har publicerats (Saguti, 2024).

Aktivitet 2.4.5: Utveckla ny metod för att kvantifiera fluorescerande organiska mikroföroreningar (OMP) i dricksvatten och avloppsvatten.

Denna aktivitet slutrapporterades i Verksamhetsberättelsen 2023.

Aktivitet 2.4.6: Jämför både mikrobiella och kemiska barriärfunktioner hos olika avancerade processer (mikro- och ultrafiltrering) när dagvatten eller regnvatten används som ersättning för dricksvatten.

Mikrofiltrerings- och ultrafiltreringsmembran med en pordiameter på högst 0,2 µm eller en molekylviktavskärning (MWCO) på högst 400 kDalton fungerar som både mikrobiell och kemisk barriär. I tabellerna 2–4 sammanfattas resultaten från filtreringen av dag-/regnvatten taget från en damm (Spexardammen, Lund) med ett 0,2 mikron/400 kDalton MF/UF-membran (Liqtech, Danmark). Det bör noteras att "Feed" avser vatten taget från dammen och "Permeat" avser det behandlade vattnet efter membranen. Generellt sett är resultaten i linje med förväntningarna. Den höga avskiljningen av tungmetaller (Tabell 3) indikerar att tungmetallerna främst är bundna till suspenderade partiklar. Den relativt låga avskiljningen av mikroorganismer (Tabell 4) kan vara relaterad till en skada på en av membransektionerna.

Tabell 2. Avskiljning av olika föreningar.

Förening(ar)	Feed (mg/l)	Permeat (mg/l)	Avskiljning (%)
TOC	10.8 ±3.7	8.8 ±7.6	44
SS	37.4 ±23.8	< 2.0	94
COD _{Cr}	35.9 ±15.6	16.3 ±5.2	65
P _{tot}	2.2 ±4.4	1.5 ±1.3	59
N _{tot}	1.4 ±0,4	0.9 ±0.4	40
NH ₄ -N	<0.2	<0.2	-
NO _x -N	<1	<1	-

Tabell 3. Avskiljning av tungmetaller.

Förening(ar)	Feed (mg/l)	Permeat (mg/l)	Avskiljning (%)
Arsenik (As)	3.1	1.8	43
Bly (Pb)	2.4	<0.5	82
Kadmium (Cd)	<0.1	<0.1	-
Koppar (Cu)	10.9	6.0	45
Krom (Cr)	1.5	<0.5	66
Kvicksilver (Hg)	<0.1	<0.1	-
Zink (Zn)	50.6	8.0	84

Tabell 4. Avskiljning av mikroorganismer.

Compound(s)	Feed	Permeat	Log ₁₀ . Red
Clostridium perfringens*	67 ±45	1 ±1	1,98
Coliform bacteria**	3 619 ±4 311	259 ±446	1,98
E. coli**	478 ±794	16 ±19 Range: <0,1 – 62	1,99
Enterococci**	1 169 ±1 342	151 ±300	1,89

*cfu/100ml; **mpn/100ml

Stödande resultat publicerades i masteruppsatsen av Oscar Braun (Braun, 2024, L2.4.6) PFAS-avskiljning har inte inkluderats i denna studie och analys, men relaterad forskning om dricksvatten med nanofiltrering och omvänd osmos visar att dessa processer kan uppnå upp till 100 % PFAS-avskiljning. De detaljerade resultaten har publicerats i en masteruppsats (L2.4.6) av Suneeta Kakati med titeln *"Prediction of Removal of Per- and Poly-fluoroalkyl Substances (PFAS) from Drinking Water by Nanofiltration and Reverse Osmosis Membranes"* (Lunds universitet, 2024).

Under pilotförsöken vid Spexardammen togs vattenprover efter 0,2 mikron/400 kDalton MF/UF-membranet (Liqtech, Danmark) och analyserades vid Aalborgs universitet (Danmark). Inga mikroplaster påträffades inom detektionsgränsen.

Vidare har mikrober övervakats vid membraninstallationen vid Röda Oasen, Malmö. De initiala resultaten visade en förbättrad avskiljning, men en detaljerad utvärdering pågår.

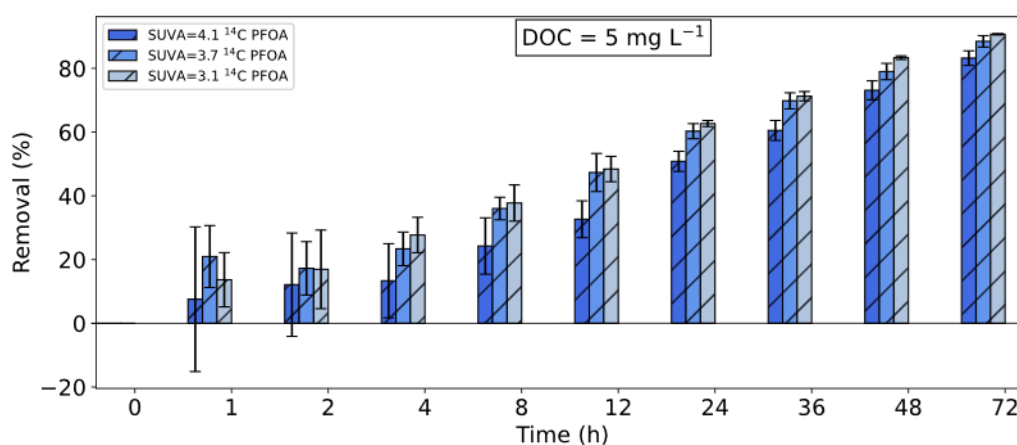
Aktivitet 2.4.7: Bedöma effekten av granulerat aktivt kol på sammansättningen av löst organiskt material i ett dricksvattenreningsverk.

En presentation med preliminära resultat om effekten av granulerat aktivt kol på löst organiskt material i ett dricksvattenverk hölls den 15 november 2024. Arbetet fortsätter under 2025.

Aktivitet 2.4.8: Undersöka effekten av sammansättningen av löst organiskt material i dricksvatten på effektiviteten av behandling med granulerat aktivt kol.

Preliminära resultat av en studie om hur sammansättningen av löst organiskt material i vatten påverkar effektiviteten av behandling med granulerat aktivt kol (GAK) presenterades vid DRICKS-webbinariet den 15 november 2024. Arbetet genomförs inom ett doktorandprojekt som gemensamt övervakas av forskare vid Chalmers och Lunds universitet, avdelningen för kemiteknik.

Labtester genomfördes för att undersöka om sammansättningen av DOC i vatten, som indikeras av dess kol-specifika UV-absorbans (SUVA), påverkar GAK-filters förmåga att avlägsna den 8-kol PFAS-molekylen PFOA (Figur 4). Lika stora doser av nytt GAK (CABOT, Norit 400 M-2358) användes i dessa experiment. I batchtester avlägsnades PFOA mer effektivt från vatten med låg SUVA än från vatten med hög SUVA, vilket indikerar konkurrens mellan PFOA och högmolekylära organiska kolmolekyler för fästplatser på aktiverat kol. Ytterligare experiment planeras under 2025 och 2026.



Figur 4. Effekt av SUVA på avlägsnandet av PFOA med hjälp av aktivt kolfilter i laboratorieprov.

Aktivitet 2.4.9: Undersöka om återanvänt avloppsvatten kan uppnå dricksvattenkvalitet genom desinfektion med UV.

Återanvänt avloppsvatten uppnådde nästan dricksvattenkvalitet enligt de parametrar vi undersökte och har publiceras (Takman et al 2024). UV ljusbehandling var mycket effektivt för att sänka koncentrationerna av E coli och andra mikrobiella kvalitetsparametrar inklusive mikrosvampar, Clostridium perfringens, och långsamväxande bakterier (Tabell 5).

Tabell 5. Från Takman et al. 2024. Jämförelse av 7 olika mikrobiella kriterier i två olika utgående vattenprover före och efter olika UV-ljusbehandlingar. Vattnet, som hade avloppsvatten som ursprung, går genom olika reningssteg uppströms och passerade genom fullskaliga GAK-filter i slutet av processen. Några liter vatten transporterades till laboratoriet för UV-ljusbehandling vid LTH.

Swedish drinking water criteria (LIVSFS 2022:12)		HPC (cfu/mL) No unusual change	Slow-growing bacteria (cfu/mL) No unusual change	Clostridium perfringens (cfu/100 mL) Present	Intestinal enterococci (cfu/100 mL) Present	Microfungi (cfu/100 mL) 100 cfu/100 mL	E. coli (cfu/100 mL) Present	Total coliform bacteria (cfu/100 mL) Present
Kivik effl GAC	2023-06-12	170	190	<1	<1	4	<1	1
	2023-06-26	4	25	2	<1	5	5	12
	2023-10-02	45	76	<1	1	37	1	3
Kivik 200 J/m ²	2023-06-12	<1	No data	<1	<1	5	<1	<1
	2023-06-26	1	23	<1	<1	27	<1	<1
	2023-10-02	5	13	<1	<1	550	<1	<1
Kivik 400 J/m ²	2023-06-12	<1	<1	<1	<1	1	<1	<1
	2023-06-26	<1	2	<1	<1	8	<1	<1
	2023-10-02	3	4	<1	<1	53	<1	<1
Kivik 700 J/m ²	2023-06-12	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
	2023-06-26	<1	1	<1	<1	4	<1	<1
	2023-10-02	1	1	<1	<1	3	<1	<1
S:t Olof effl GAC	2023-06-12	310	410	14	45	19	2,700	5,300
	2023-06-26	280	390	49	>100	129	2,000	3,700
	2023-10-02	1,000	1,460	14	42	304	1,200	2,200
S:t Olof 200 J/m ²	2023-06-12	<1	<1	7	<1	4	<1	<1
	2023-06-26	157	165	11	<1	45	<1	<1
	2023-10-02	6	6	4	<1	107	<1	<1
S:t Olof 400 J/m ²	2023-06-12	<1	<1	6	<1	2	<1	<1
	2023-06-26	<1	4	4	<1	8	<1	<1
	2023-10-02	1	6	2	<1	78	<1	<1
S:t Olof 700 J/m ²	2023-06-12	<1	3	<1	<1	4	<1	<1
	2023-06-26	<1	<1	<1	<1	3	<1	<1
	2023-10-02	2	1	1	<1	30	<1	<1

Notes: Effl GAC: effluent from GAC filter. Microfungi is calculated as the sum of yeast and mold fungi.

Aktiviteten avslutades med en presentation (L2.4.9) som var en del av Maria Takmans doktorandavhandling och även en publikation av en vetenskaplig artikel. Det har varit ett samarbete mellan Agenda 2030-forskarskolan (Lunds universitet), Österlens VA, VA-teknik södra och LTH.

3.3 Hållbar distribution (AP3)

Detta arbetspaket syftar till att öka kunskapen kring utmaningar i ledningsnätet såsom åldrande och otäta ledningar skapar både kvalitets- och kvantitetsproblem med såväl risker för inträngande förorenat markvatten vid låga tryck, som stort läckage av dricksvatten. I komponenterna nedan beskrivs forskningsarbete som genomförts med sensorer som tidig varning för kvalitetsförändringar, och hur läckor kan upptäckas och åtgärdas genom analyser av förbrukningsdata, samt studier av hur återväxtpotential, biofilmsbildning och biostabilitet i ledningsnätet kan övervakas. Samordnande för AP3 är Thomas Pettersson.

Komponent 3.1 - Valideringsstudie av elektronisk tunga vid föroreningsinträngning på distributionsnät

(komponentledare: Mats Eriksson)

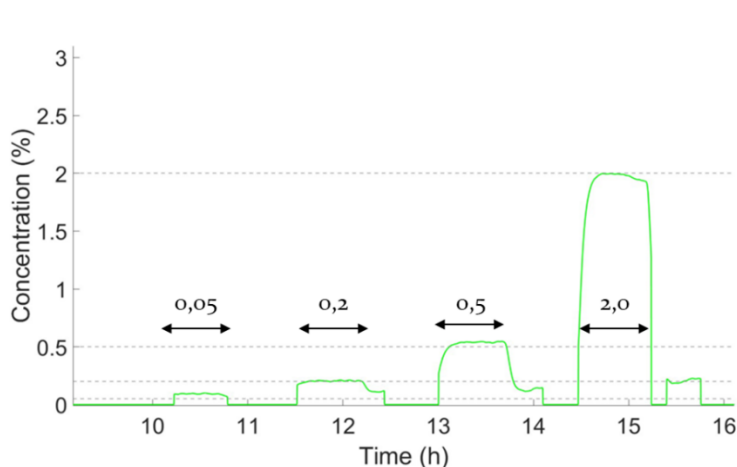
I denna komponent studeras möjligheten att övervaka vattenkvaliteten i ett helt distributionsnät för dricksvatten med ett nätverk av sensorer. Arbetet sker i samarbete mellan Linköpings universitet, Chalmers och Tekniska verken i Linköping AB (publ). Målsättningen är att kunna detektera relevanta förändringar hos vattenkvaliteten och vi fokuserar på avloppsdetektion som en markör av förekomst av patogena mikroorganismer. För att åstadkomma detta har vi placerat ut sensorer i form av "elektroniska tungor" i 5 mätpunkter i Linköpings kommun som utgör ett litet testnätverk. Sensorerna mäter kontinuerligt var 10:e sekund, dvs. vi får resultat som är mycket nära realtid. I en av mätpunkterna kan doseringar med olika ämnen göras för att studera sensorns respons.

Aktivitet 3.1.1: Datainsamling på distributionsnätet.

Datainsamling har pågått i 5 mätpunkter på distributionsnätet. Stora mängder data har samlats in, tyvärr dock med stora avbrott. Dessa luckor behöver täckas så att data från hela året finns tillgängligt.

Aktivitet 3.1.2: Utveckling av robusta realtidsalgoritmer för mätningar i fält.

Under 2024 har två examensarbetare utvecklat realtidsalgoritmer för att e-tungan ska kunna arbeta autonomt i fält (Bengtsson och Fernando). Arbetet bygger på resultat från ett examensarbete 2022 där data utvärderades i efterhand, vilket inte är tillräckligt för att köra sensorn i realtid. Den nya algoritmen skulle också ge avloppshalten snarare än bara svara ja eller nej till detektion (binär respons). Dessutom skulle den framtagna algoritmen också jämföras med en machine learning-algoritm. Arbetet har resulterat i en robust realtidsdetektion för ett av de två särdrag som används för selektiv detektion av avloppsinträngning i dricksvattnet. Algoritmen fungerar därmed bra för höga halter avloppsvatten ($> 0,05\%$) och kan då prediktera avloppshalten, se Figur 5, men behöver förfinas för att förbättra detektionen av låga halter (halter ner till $0,005\%$ bör vara möjliga att detektera). Detta kräver en förbättrad hantering av det andra av de två särdragen i mätdata. Examensarbetet visar vidare att denna approach är den framkomliga vägen snarare än att byta till en machine-learning-metod.



Figur 5. Predikterad avloppskoncentration i dricksvatten, med de applicerade koncentrationerna (i %) angivna i figuren.

Aktivitet 3.1.3: Definition av störningstålig hårdvara.

Detta arbete har nedprioriterats. Största problemet är att utrustningen hänger sig efter 1-3 månaders körning och kräver då omstart. Arbetet med realtidsalgoritmen har prioriterats högre och de begränsade resurserna har lagts på det.

Komponent 3.2 - Kartläggning och utveckling av läcksöknings-metoder för minskat läckage

(komponentledare: Thomas Pettersson och Olof Bergstedt)

Under 2024 har forskningen i denna komponent fokuserat på två områden, där det första är att utveckla en modell för att förutsäga ledningsbrott baserat på historiska data av ledningsbrott samt flera olika ledningsdata. Det andra området är väl integrerat med det första området, där klassificering av ledningsbrott klassificerats med hjälp av logistisk regression.

Utveckling av modell för att förutsäga ledningsbrott baserat på historiska data

Under 2024 har vi främst utvecklat modeller för rörbrottsbedömning med hjälp av maskininlärning (ML) för att förutsäga ledningsbrott, vilka kan orsaka läckage i vattendistributionssystemet. Detta har gjorts i syfte att stödja proaktivt underhåll och beslutsfattande för vattenproducenter. Arbetet innebar att vi kombinerade maskininlärning och hydraulisk modellering för att utveckla en integrerad riskbedömningsmetod.

Machine Learning – modellutveckling

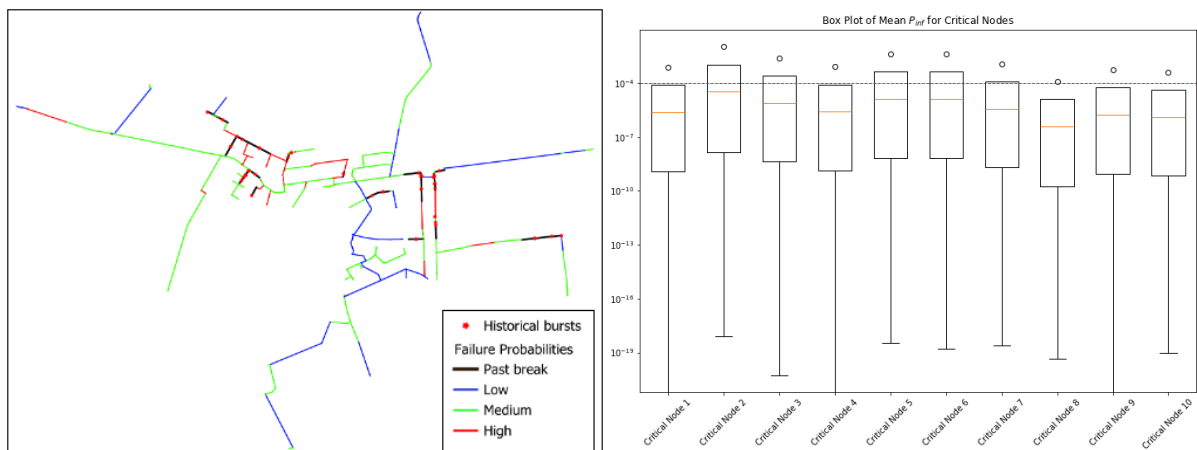
Olika ML-modeller såsom *Random Forest*, *XGBoost* och *Logistic Regression*, utvecklades och optimerades för att förutsäga ledningsbrott baserat på olika variabler i vattendistributionssystemet som rörens ålder, diameter, längd, material och jordtyp kombinerat med historiska data kring ledningsbrott och andra läckor. Dessa modeller tränades för att klassificera rör baserat på deras sannolikhet för fel. Dataset från Göteborg och Skåne användes för att träna och validera modellerna. Konstruktiva diskussioner har även förts med Uppsala Vatten där vi kommer få tillgång till data från deras ledningsnät för vidare validering och potentiella fallstudier med liknande applikationer.

Med tanke på "klassobalans"-utmaningen i datamängden (med de flesta rör i distributionssystemet som inte har haft något rörbrott), testades olika om samplingstekniker (inklusive SMOTE och SMOTEENN) för att förbättra modellens prestanda. Dessutom testades inverkan av olika indata-funktioner på modellens prestanda för att ta reda på vilka funktioner som är viktigast för att kunna förutsäga ledningsbrott.

Utöver förutsägelse har ett integrerat ramverk för riskbedömning utvecklats, som kombinerar: logistisk regressionsbaserad felförutsägelse, hydraulisk modellering för att simulera tryckfall och flödesstörningar, kvantitativ mikrobiell riskbedömning (QMRA) för att utvärdera folkhälsokonsekvenser av misslyckanden och TOPSIS-baserad Multi-Criteria Decision Strategier för att prioritera MCDA för att prioritera och prioritera MCDA.

Detta ramverk är utformat för att vara praktiskt tillgängligt och användbart för ledningsägare, och hjälpa beslutsfattare att förutsäga var fel är troliga men också bedöma deras hydrauliska och hälsomässiga effekter, se Figur 6a, vilket leder till bättre beslutsfattande och resursallokering.

Ett utkast med titeln "Integrating Machine Learning and Multi-Criteria Decision Analysis for Health Risk Assessment in Water Distribution Networks" har utarbetats för en tidskriftsartikel.



Figur 6. a) Integrerat ramverk för riskbedömning

b) exempel på uppskattningar för *Campylobacter*.

Förfin och utveckla simuleringsverktyg i Python-miljön

Under 2024 har arbetet även fokuserat på att förfin och utveckla ett simuleringsverktyg i Python-miljön, med hjälp av Water Network Tool for Resilience (WNTR) fortsatt. Verktöget användes för att komplettera den forskning som utförts ovan, där det kopplades till klassificering av ledningsbrott med hjälp av logistisk regression. Detta samarbete belyser fördelarna med att vara en del av samma forskargrupp. De riskuppskattningar som erhållits från verktöget ingick i en doktorsavhandling som presenterades den 31 januari 2025.

Ledningsnätet från Odhiambo et al. (2023) utvärderades på nytt med en ny inträngningsmodell som tog hänsyn till stokastiska modelleringsparametrar. Figur 6b visar ett exempel på de uppskattningar som erhållits för *Campylobacter*. De nya infektionsuppskattningarna var lägre för samma noder som utvärderats tidigare, vilket tyder på att de ursprungliga uppskattningarna kan ha varit en överskattning. Detta kan delvis förklaras av den nya stokastiska inträngningsmodellen, som inkluderar möjligheten att flera ledningar går sönder. Detta tillvägagångssätt utgör en betydande förbättring jämfört med den metod som beskrivs i Odhiambo et al. (2023), där endast en större ledning ansågs riskera att gå sönder.

Studien visade att stokastiska modeller resulterade i lägre mikrobiella risker jämfört med deterministiska modeller. Det fanns inget tydligt samband mellan antalet fekala indikatorer och den relativa förekomsten av *E. coli*-DNA, men andra grupper i den mänskliga tarmfloran uppvisade ett starkt samband. Metagenomik avslöjade en högre prevalens av icke-traditionella patogena släkter jämfört med de referenspatogener som vanligtvis används för riskbedömningar. Detta tyder på att riskbedömare bör överväga att välja ytterligare referenspatogener när de utför QMRA för ledningsnät.

Komponent 3.3 - Studie av implementering av vattenförbrukningsanalys

(komponentledare: Thomas Pettersson)

Inga examensarbeten genomfördes inom området att analysera vattenförbrukningen för att identifiera läckage i ledningsnätet. Men i och med att ett nytt doktorandprojekt startade 2024 kommer detta ämne att arbetas med mycket fokuserat under 2025 och framåt.

Dock har ett kandidatarbete kring hur man kan minska vattenförbrukningen i Sverige genomförts, där studenterna undersökt hur dagens förbrukning från ca 140 liter per person och dygn kan minskas genom att installera de mest snålförbrukande armaturerna som finns på den svenska marknaden i hushållen. Syftet med studien var att analysera hushållens betalningsvilja till att installera olika armaturer utifrån olika återbetalningstider.

I Figur 7, nedan, visas besparingen som är möjlig för de olika moderna och snålförbrukande armaturerna på marknaden.

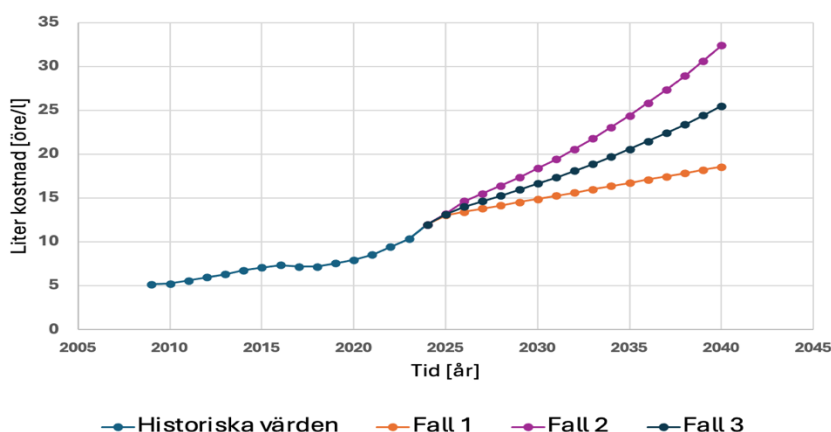
Vattenbesparande åtgärder i hushållet

Vattenbesparande kran	50 %
Vattenbesparande toalett	33 %
Recirkulerande dusch	75 %
Vattenbesparande tvättmaskin	15 %
Vattenbesparande diskmaskin	43 %

Figur 7. Möjliga vattenbesparingar genom att byta ut vattenarmaturer i bostaden mot nya moderna och vattensnåla armaturer

Studenterna utformade olika scenarier för framtida vattenpriser med ett antagande om att priserna ökar både linjärt och exponentiellt med tiden, se Figur 8 nedan. En kvantitativ enkätundersökning genomfördes för att utreda svenska hushålls betalningsvilja att installera dessa olika vattenbesparande åtgärder utifrån hur lång tid det tar för investeringen att återbetalas. Utgångspunkten i webbenkäten var att respondenten redan befintliga vattenförbrukande tekniker i hushållet skall bytas ut till vattenbesparande varianter.

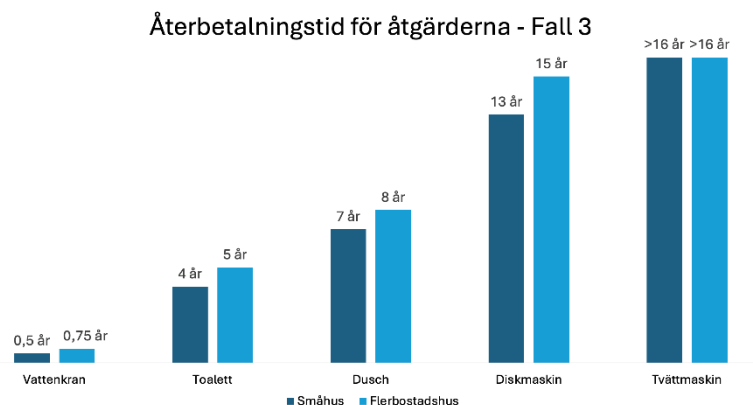
Prognos för literkostnad av vatten



Figur 8. Olika scenarier för framtida vattenpriser med ett antagande om att priserna ökar både linjärt och exponentiellt

Studien kom fram till att implementering av samtliga vattenbesparande åtgärder minskar den totala vattenanvändningen i ett hushåll med hela 45 %. Vidare var resultaten från enkätundersökningen att respondenternas betalningsvilja varierade för de olika vattenbesparande åtgärderna. Exempelvis är

en snålspolande vattenkran den åtgärd som har kortast återbetalningstid, vilken också innebar att den var den mest populära, se Figur 9 nedan. Personer med högre inkomster var mer villiga att investera i vattenbesparande åtgärder, men bostadstypen (småhus eller flerbostadshus) verkade inte påverka betalningsviljan i lika hög grad.



Figur 9. Återbetalningstider för investeringar av olika moderna vattensnåla armaturer.

Komponent 3.4 - Biostabilitet och ändamålsenlig kemisk och mikrobiologisk analys av distributionssystemet

(komponentledare: Kate Murphy och Catherine Paul)

Aktivitet 3.4.1: Använda metagenomik DNA-sekvensering för att utforska kopplingar mellan mikrobiella innehållet och lukt- och smakbeskrivningar av kranvatten från Halland, Skåne och Blekinge (med kopplingar till AP2, Aktivitet 2.3.1).

Arbetet inom denna aktivitet går framåt och ett utkast till en vetenskaplig artikel finns (L3.4.1). Personalförändringar vid LTH/Teknisk vattenresurslära har nu förändrat tolkningen av data, och arbetet har börjat koppla information från flödescytometridata till olika MAGs (metagenome-assembled genomes) för att öka förståelsen av flödescytometri-fingeravtryck. Ett stort problem med att leverera en förklaring till olika lukt- och smakbeskrivningar är att beskrivningar kopplade till vattenprover inte har genomförts med tillräcklig studiedesign och är ganska anekdotiska. Vi jobbar vidare under 2025 och hoppas kunna avsluta projektet med en vetenskaplig publikation. Det här projektet är ett samarbete mellan FOI (Totalförsvarets forskningsinstitut) och LTH.

Aktivitet 3.4.2: Beskriva mikrobiologin i biofilm och vatten från vattentorn i olika distributionsnät, både genom manuella och online-mätningar.

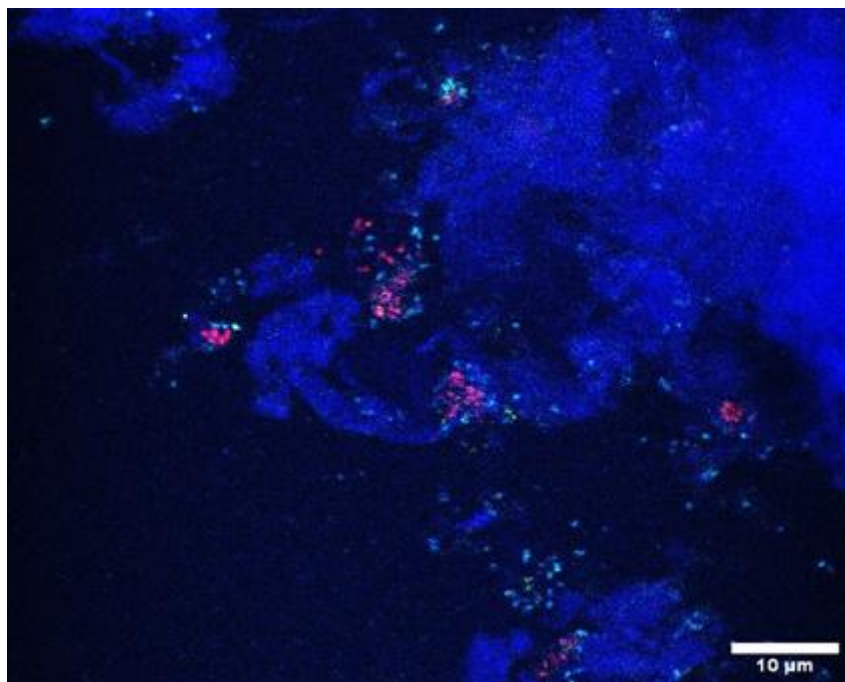
Arbetet med biofilm och vatten i vattentorn började 2020 i ett samarbete mellan LTH, Norrvatten, VIVAB och Sydvatten och fortsätter nu inom AquaClim-projektet med LTH, VIVAB och Sydvatten. En vetenskaplig artikel om mikrobiologisk vattenkvalitet i ett vattentorn (L3.4.2a) har försenats på grund av personalbrist, då en forskare har lämnat arbetsgruppen vid LTH. En studie av ett helt nybyggt vattentorn i VIVAB:s distributionssystem har påbörjats, och förhoppningen är att detta ska bidra till motivationen att färdigställa den tidigare studien. En presentation (Schleich et al. 2024, L3.4.2b) av den nya studien om VIVAB:s vattentorn hölls vid AquaClim-mötet i Göteborg hösten 2024.

Aktivitet 3.4.3: Beskriva användbarheten av flödescytometri-mätningar för övervakning av vattenkvalitet i ledningsnätet.

Denna aktivitet är delad med aktivitet AP2 2.1.3. Flödescytometridata har samlats in från 16 olika provpunkter i samma distributionsnät. En ny datavisualiseringsmetod baserad på 2D-histogramdata – det så kallade flödescytometri-fingeravtrycket – har utvecklats för att jämföra alla insamlade 2D-histogram över en femårsperiod och från samtliga 16 provpunkter. De punkter som representerar mikrobiella sammansättningen i vattnet har klustrats matematiskt och kan beskrivas som exempelvis ”nära vattenverket” eller ”med monokloramin”. Mittpunkterna i olika kluster jämförs statistiskt. Denna parameter används för att beskriva hur mycket olika grupper av vattenprover och mikrober skiljer sig från varandra – den så kallade ”separationsgraden” (AP2; Figur 2). Under 2024 har dataanalysen varit intensiv. I slutfasen insåg medförfattarna att tolkningen av data behövde ytterligare stöd och analys, inklusive statistiska beräkningar, vilket har försenat inskickningen till en vetenskaplig tidskrift. Inskickning av manuskriptet (L3.4.3) är nu beräknad till före sommaren 2025. Denna aktivitet är ett samarbete mellan LTH, Högskolan Kristianstad och VIVAB.

Aktivitet 3.4.4: Utveckla FISH (fluorescence in situ hybridization) och andra metoder för visualisering av biofilm i distributionsnätet (med kopplingar till AP2 och Aktivitet 2.3.2)

Ett masterprojekt (Fuchs, 2024. L3.4.4) har testat olika oligonukleotider för att visa hur grupper av bakterier placerar sig i biofilmen, både med och utan monokloramin. DNA-sekvensering av biofilm från rör i VIVABs distributionsnät identifierade bakterier som bidrar till nedbrytningen av ammoniak, en kemisk komponent i monokloramin. Mikroskopimetoderna är välutvecklade, eftersom samma grupper av bakterier är kända från nitrifikationsprocesser vid avloppsreningsverk. Med hjälp av en laboratorieskala MBBR odlade vi många prover av biofilm i kontakt med PE (polyeten, samma plast som används i rören hos VIVAB). Olika reaktorer installerades i Vombvattenverk för att exponera biofilmen för ”nästan färdigt” dricksvatten i full skala, både med och utan monokloramin. Det tog längre än väntat men i slutet av projektet lyckades vi ta en bild (Figur 10) av alla bakterier vi förväntade oss att hitta, i en 5 månader gammal biofilm i kontakt med monokloramin (Paul, 2024). Detta projekt var ett samarbete mellan Sydvatten och LTH, med stöd från DRICKS medlemspengar.



Figur 10. Bilder som visar fluorescence in-situ hybridization av en 5 månader gammal biofilm i kontakt med dricksvatten som innehåller monokloramin. Genera *Nitrosomonas* (röda prickar), *Nitrospira* (blå/cyan prickar) och *Sphingomonas* (gröna prickar) medan övriga bakterier och DNA visas i blått. Förstoring: 20x.

Aktivitet 3.4.5 Fluorescensmätningar med elektroniske tunga

Aktiviteten för att undersöka förändringar i fluorescensmätningar i samband med mätningar med elektroniske tunga i ett ledningsnät har inte kunnat genomföras under 2024 på grund av personalbrist. Aktiviteten har flyttats fram till 2025.

3.4 Säker vattenkvalitet (AP4)

Syftet med detta arbetspaket är att bygga upp verktyg och kunskap kring kvantitativa mikrobiologiska respektive kemiska riskbedömningar (QMRA och QCRA) samt att identifiera, karakterisera och ta fram metoder för olika typer av kemiska hälsorisker i dricksvatten. Samordnande för AP4 är Karin Wiberg.

Komponent 4.1 - Kvantitativ hälsoriskbedömning

(komponentledare: Thomas Pettersson och Andreas Lindhe)

Denna komponent avser QMRA-verktygets (kvantitativ mikrobiell hälsoriskbedömning) olika delar och hur de tillhandahålls samt vidareutvecklas. Komponenten avser även arbetet med att utveckla ett motsvarande verktyg för kemiska hälsorisker (QCRA).

Aktivitet 4.1.1: Tillhandahållande och support av befintligt QMRA-verktyg via DRICKS hemsida.

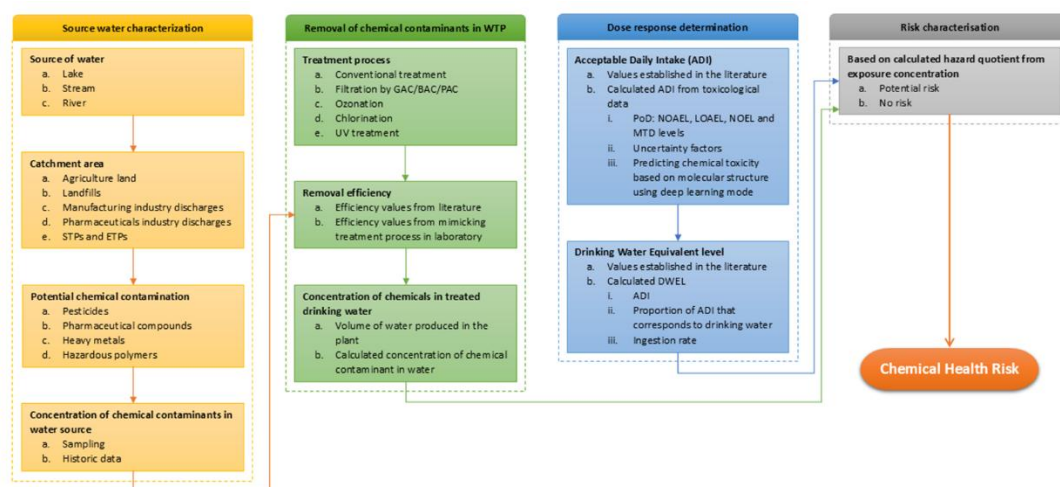
De olika varianterna av QMRA-verktyget, samt tillhörande stödmaterial och kompletterande verktyg, tillhandahålls alla via dricks hemsida (www.dricks.se). Under 2024 har löpande tekniskt underhåll genomförts av den plattform som online-versionerna av modellerna använder. Under året påbörjades även arbetet med att utveckla en ny hemsida för DRICKS och en del av denna kommer fokusera på dessa verktyg, bl.a. QMRA-verktyget, som DRICKS tillhandahåller.

Aktivitet 4.1.2: Uppdatering av QMRA-verktyget (vid behov) baserat på resultat från nya studier och synpunkter från användare.

QMRA-verktyget tillämpas i såväl forskningsprojekt och undervisning som av vattenproducenter och konsulter. I dessa arbeten identifieras ibland möjliga förbättringar som kan göras av verktyget och kompletteringar som kan behövas för att belysa nya frågeställningar m.m. Det genomförs också forsknings- och utvecklingsprojekt som ger ytterligare underlag för den indata och de antagande som används i modellen. Under året har information samlats in om såväl möjlig vidareutveckling av verktyget och nya forskningsresultat som kan användas som indata i modellen. Under 2024 har Norrvatten arbetat med ett utvecklingsprojekt där fokus varit att ta fram av ny processlösning som bland annat kommer innehålla återföring av restströmmar. För att analysera detta har QMRA kombinerats med dynamisk simulering.

Aktivitet 4.1.3: Framtagande av prototyp och utvärdering av förutsättningarna för ett QCRA-verktyg.

Under 2024 har ett studentarbete genomförts där syftet varit att sammanställa all litteratur som beskriver i vilken utsträckning som olika befintliga dricksvattenprocesser kan avskilja, eller omvandla, kemiska ämnen som bedöms vara långsiktigt hälsofarliga (t.ex. PFAS m.fl.). Eftersom det är en oändlig mängd ämnen som finns, och potentiellt kan finnas, i råvattentäkterna så är det ett grannliga arbete att sammanställa alla studier som genomförts för dessa ämnen, och ändå är det bara en begränsad mängd ämnen som är studerade. För att uppskatta vattenprocessernas avskiljningseffektivitet för ej studerade ämnen så har kända ämnens molekylstruktur och avskiljningsförmåga sammanställts. Utifrån denna sammanställning har ett försök gjorts att jämföra likartade okända ämnen, med liknande ämnesstrukturer (molekylstrukturer), där motsvarande avskiljningsförmåga bedöms relevant. Detta arbete är bara påbörjat och skall arbetas vidare med kommande programperiod, där "deep learning"-metoder kommer appliceras för att säkerställa att en så korrekt bedömning av avskiljningsförmågan som möjligt görs för nya och okända kemiska ämnen. Arbetet med att ta fram data kring humantoxicitet med det nya AI-baserade metoden, som utvecklats av Erik Kristiansson och Mikael Gustavsson vid Chalmers kommer att implementeras in i QCRA-verktyget under kommande programperiod. I Figur 11 visas strukturen för QCRA-verktyget.

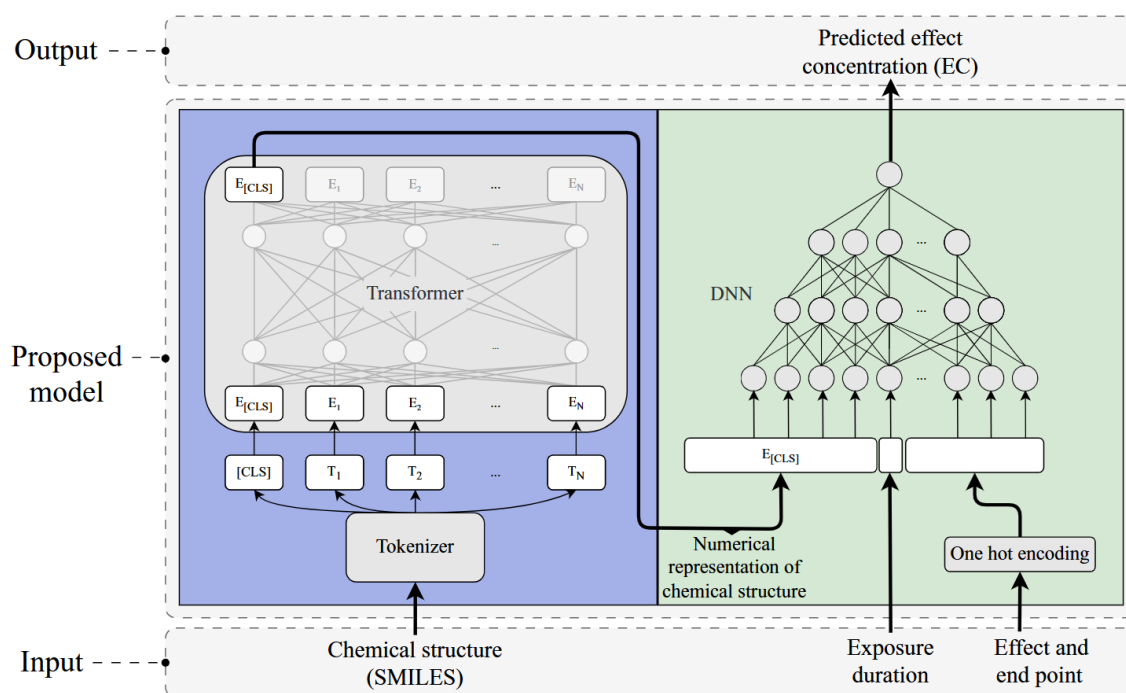


Figur 11. Föreslagen struktur för det pågående arbetet med att utveckla ett QCRA-verktyg.

Aktivitet 4.1.4: Utforska prediktionsmodeller baserade på artificiell intelligens och kemisk fingerprinting för att uppskatta gränsvärden för kemikalier där toxikologiska data är bristfällig eller saknas helt.

Vi har, tillsammans med Livsmedelsverket, identifierat en brist av toxicitetsdata bland flera kemiska ämnen. Vår analys resulterade i 67 kemikalier som har detekterats i vattenverk, där experimentiell toxicitetdata saknas. Vår slutsats var att det finns en möjlighet att AI kan uppskatta den saknade toxicitetdatan och därigenom förbättra QCRA. Vi arbetar nu på nästa steg där de faktiska uppskattningarna som AI genererar utifrån ett riskperspektiv.

Vi har även publicerat en vetenskaplig artikel i Science Advances (Gustavsson et al., 2024) som beskriver de grundläggande AI-metoderna (Figur 12). Artikeln, som i publikationen har ett fokus mot vattenlevande organismer i miljön, ligger även till grund för de metoder som vi nu arbetar på att använda för QCRA i dricksvatten. Vi skickade i samband med publikationen även ut ett pressmeddelande som fick stor uppmärksamhet (<https://www.chalmers.se/en/current/news/ai-can-detect-toxic-chemicals/>).



Figur 12. Beskrivning av modellens arkitektur. För varje molekyl beräknas en numerisk representation (baserat på en SMILES, d.v.s. simplified molecular-input line-entry system) används som input. AI-modellen är baserad på transformerare ('transformers' på engelska), vilken identifierar de delar av molekylen som viktigast för att beskriva dess toxicitet. I ett sista steg kombineras detta med information om exponeringens varaktighet, effekt och slutpunkt för att förutspå toxiciteten i form av en effektkoncentration (EC50 och EC10). Figuren är hämtad från Gustavsson et al., 2024.

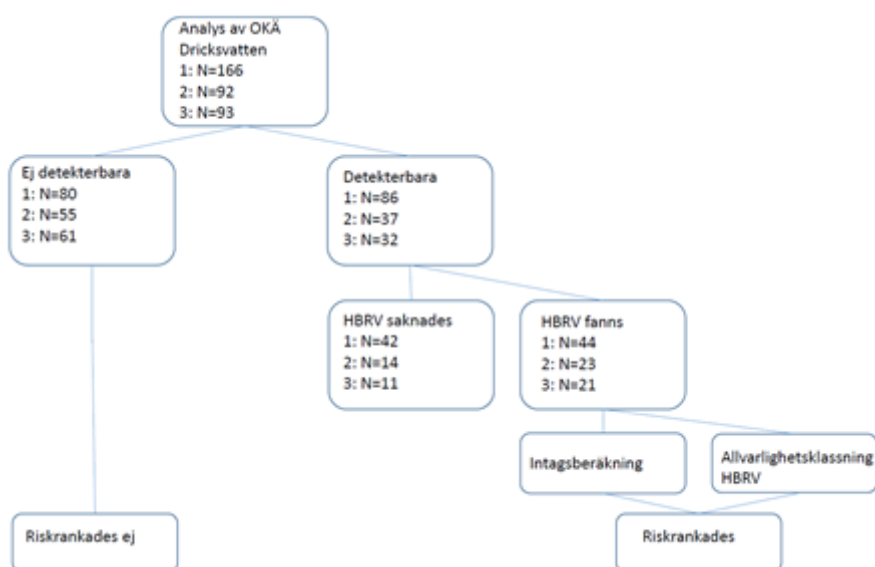
Komponent 4.2 - Faroidentifiering

(komponentledare: Lutz Ahrens och Anders Glynn)

Denna komponent fokuserar på kemiska hälsorisker. Den har tre aktiviteter som var och en kopplar till ett forskningsprojekt: 4.2.1 Risktermometern: Riskrankning av kemikalier i dricksvatten, 4.2.2 DANTE: Effektdriven analys som ett verktyg för en giftfri miljö - identifiering av blandningseffekter och toxiska ämnen i vatten och 4.2.3 Kombinationseffekter av toxiska kemikalier och grundämnen bland barn/ungdomar – en integration av epidemiologisk metodik och biotestning.

Aktivitet 4.2.1: Riskrankning av föroämnena i dricksvatten.

För att nå målet med ett säkert dricksvatten är det av stor vikt för dricksvattenproducenterna att ha tillgång till verktyg för prioritering av vilka kemikalier som i första hand bör åtgärdas, både uppströms vattentäkten och i vattenverken. Mot denna bakgrund har ett pilotprojekt genomförts, och publicerats som SVU-rapport (Glynn et al. 2024), där Livsmedelsverkets riskrankningsverktyg Risktermometern användes för att hälsoriskranka substanser som detekterats i dricksvattnet från tre större vattenverk. Rankningen gjordes med utgångspunkt från hur stort befolkningens intag av substanserna är från dricksvattnet i förhållande till hälsobaserade referensvärden (HBRV) för substanserna i fråga, och utifrån allvarligheten av de toxiska effekter som de olika substansernas HBRV baseras på (Figur 13). Syftet med pilotprojektet var att undersöka tillämpbarheten av Risktermometern som ett verktyg för rankning och prioritering av kemiska hälsorisker. Målet var att efter pilotprojektets slut ha testat den nuvarande versionen av Risktermometern med hjälp av data från mätningar av olika substanser i några av de större vattenverken i Sverige. Projektet undersökte hur väl verktyget tillgodoser producenternas behov, och vad som behöver utvecklas för att bättre passa arbetet med att säkerställa dricksvattnets hälsomässiga kemiska kvalitet.



Figur 13. Flödesschema för riskrankningsproceduren som genomfördes i vattenverk 1, 2 och 3. N-värdet anger antal substanser. Endast substanser som detekterades i dricksvattnet, och som hade publicerade hälsobaserade riktvärden (HBRV) av hög vetenskaplig kvalitet, riskrankades.

Projektet visade att Risktermometern i sin nuvarande version fungerar bra för riskrankning av de substanser som kunde detekteras i dricksvattnet och som hade publicerade hälsobaserade riktvärden av hög vetenskaplig kvalitet. Det var dock en stor andel av de analyserade substanserna som ej kunde detekteras i vattnet eller som saknade HBRV, och som då uteslöts ur riskrankningen. Proceduren för riskrankningen borde dock kunna utvecklas så att hälsobaserade haltgränser i dricksvatten kan

beräknas baserat på publicerade HBRV för både detekterade och ej detekterade substanser. Riskrankningsproceduren kräver att dricksvattenproducenterna får både toxikologisk experthjälp och praktisk hjälp med själva riskrankningsmodelleringen. Utveckling av en mer användarvänlig digital version av Risktermometern skulle vara möjlig i framtiden. En databas som samlar riskbedömningar med HBRV av god vetenskaplig kvalitet vore önskvärt för att underlätta riskrankningen, en databas som uppdateras kontinuerligt och är anpassad för Risktermometern. Ett utkast till vetenskaplig artikel har sammanställts.

Riskrankningsprojektet presenterades på flera workshops där vattenbranschen hade stor deltagande, bland annat Glynn A. (Uppsala, 2024), Sand S. (Karlstad 2024) och Glynn A. (DRICKS webinarium).

Aktivitet 4.2.2: Effektbaserad testning.

Målet med denna komponent är att utveckla en effektdriven analys (EDA) för identifiering av kemikalier som har en potentiell hälsorisk i dricksvatten. Under 2024 har ett intensivt arbete pågått för att integrera cellbaserade biotester med screening av förväntade/okända ämnen genom högupplöst masspektrometri samt validera EDA-verktyget med olika vattenprover.

EDA-metodik för komplexa vattenprov har presenterats vid Svenskt Vattens konferens "Forsknings- och innovation över vattenklustrens gränser" (6–7 februari 2024 i Uppsala) (L4.2.2a). Dessutom har effektbaserade metoder för förbättrad dricksvattensäkerhet presenterats vid DRICKS interna AP-webbinarium (AP4) den 8 november 2024.

Vi har skickat in en vetenskaplig artikel om effektrinriktad analys med hjälp av ett batteri av 4 olika cellbaserade biotester för identifiering av toxiska drivkrafter i avloppsvatten från reningsverk (Lindblad et al., submitted) (L4.2.2b). Ett stort antal kemiska substanser detekterades i avloppsvatten och majoriteten av dessa föreningar hittades nedströms ett reningsverk men inte uppströms. Detta belyser vikten av att fastställa metoder för EDA i vatten med relevans för exponering av människor och miljö med hjälp av en rad olika bioanalytiska endpoints.

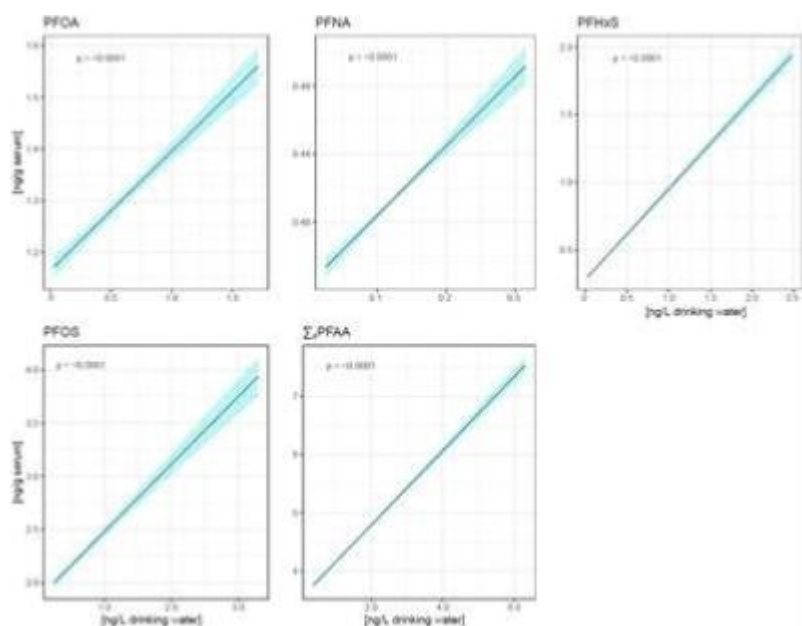


Figur 14. Provtagning av vattenprover för EDA-analys på SLU (foto: Sofia Lindblad).

Aktivitet 4.2.3: Bidrar bakgrundshalter av PFAS till PFAS-exponeringen bland svenska ungdomar (CETCHAA)?

Jennifer Nyström-Kandola disputerade 2024-03-01 på SLU med avhandlingstiteln "Per- and polyfluoroalkyl substances – unravelling exposure sources and demographical exposure patterns in a Swedish adolescent population". Som studiepopulation användes runt 1000 deltagare i åldrarna 10–21 år från den nationellt täckande kostundersökningen Riksmaten ungdom 10–21 (Nyström-Kandola 2024).

Avhandlingens resultat tyder på att dricksvattnet varit en viktig exponeringskälla för ungdomarna (Figur 15), trots att PFAS-halterna i dricksvattnet får anses vara låga, inte bara i svenskt perspektiv utan även internationellt. En annan viktig exponeringskälla tycks ha varit kosten, då deltagare som åt en hälsosam och varierad kost rik på fisk och skaldjur hade högre PFAS-halter i blodet i jämförelse med deltagare som inte åt denna typ av kost. Det finns också faktorer som indirekt påverkade exponeringen. Bland dessa fann vi att deltagare som var födda i ett höginkomstland hade högre PFAS-halter i blodet än de deltagare som var födda i ett låg-/lägre-medelinkomstland. Därtill hade pojkar högre PFAS-halter i blodet i jämförelse med flickor. Sammanfattningsvis har denna avhandling bidragit med information om vilka faktorer som skulle kunna förklara variationen av PFAS-exponeringen hos ungdomar i Sverige. Denna typ av information är viktig att ha i åtanke när man undersöker effekten av PFAS på ungdomars hälsa. Dessutom är denna information viktig att beakta i framtida riskbedömningar.



Figur 15. Samband mellan uppmätt halt av PFAS i serum och dricksvatten bland 790 ungdomar från matvaneundersökningen Riksmaten ungdom 2016–17. Regressionslinje från univariat viktad regressionsanalys och 95 % konfidensintervall (blått band).

Komponent 4.3 - Desinfektionsbiprodukter i dricksvatten (komponentledare: Kathleen Murphy och Anna Andersson)

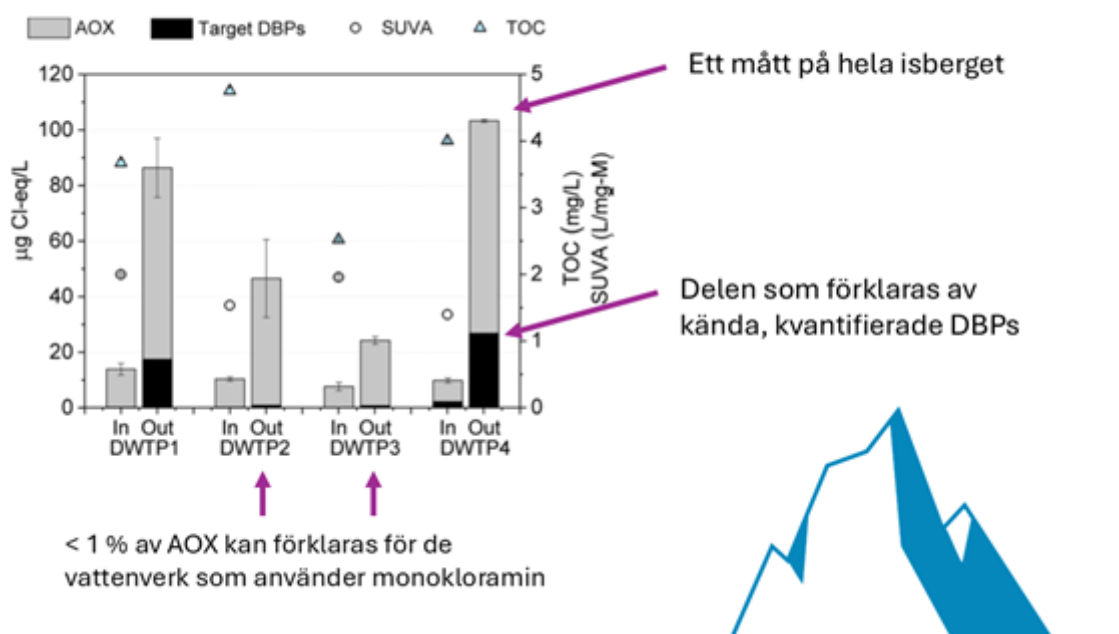
Denna komponent har fokus på kväveinnehållande, toxiskt relevanta desinfektionsbiprodukter, s.k. N-DBP, som kan bildas vid användning av både hypoklorit och monokloramin. Detta är en del av

arbetet med att kartlägga potentiellt negativa hälsoeffekter som är associerade med användning av desinfektionsmedel. Då bildning av DBP:s är starkt kopplade till det organiska materialet i vattnet som utgör prekursorer, fokuseras arbetet även kring fluorescens och att undersöka hur den tekniken för att karakterisera det organiska materialet kan användas för att prediktera DBP bildning.

Aktivitet 4.3.1: Kartläggning av N-DBP:s i Sverige.

Kartläggningen av kända DBP:s i kombination med mätning av absorberbara organiska halogener (AOX), som kan ses som ett totalmått på mängden bildade DBPs, visade hur stor del av AOX som kunde förklaras av kända DBP:s (Figur 16). Som mest kunde 27% av AOX förklaras av kända DBPs. Denna observation gällde för vattenverk 4 som använder hypoklorit. För vattenverken som använde monokloramin (DWTP2 och DWTP3) kunde <1% av bildad AOX förklaras med kända DBPs, vilket betyder att en stor del av DBP bildningen vid kloraminering är okänd och inte kan detekteras med GC-MS, som är den vanligaste metoden för att kvantifiera kända DBPs. AOX kan därför vara en bra parameter för att följa upp DBP bildning, särskilt för vattenverk som använder monokloramin.

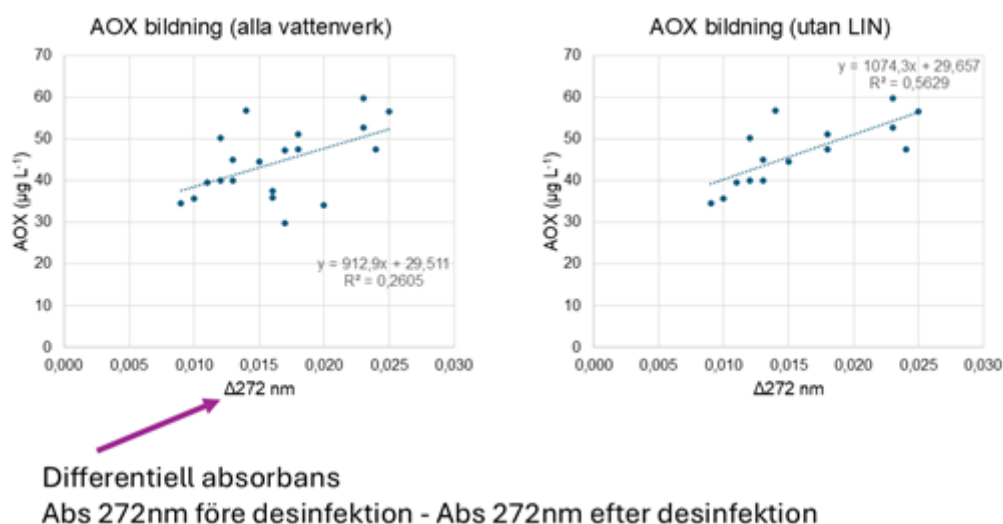
Under 2024 genomfördes analyser med ultrahögupplöst masspektrometri efter provtagning och extraktioner vid 3 vattenverk (Berggården, Borg, Råberga) för att vidare analysera dessa okända DBPs. Proverna analyserades med både negativ och positiv jonisering för att möjliggöra detektion av kväveinnehållande DBPs, då vissa funktionella grupper med kväve gärna bildar positiva joner. Resultaten indikerar att N-DBP:s kan separeras med specifika SPE kolonner och detekteras med positiv jonisering och arbetet kommer ge kunskap kring hur vi bäst kan analysera N-DBPs, hur dess förekomst varierar mellan de tre vattenverken som undersökts och hur bildningen relaterar till de olika vattnens beredning och innehåll av organiskt material.



Figur 16. Resultaten visar AOX (den grå stapeln) och mängden kvantifierade kända DBP:s (den svarta stapeln) som bildas vid fyra svenska vattenverk (Råberga, Görvålverket, Bulltofta, Gränby) som använder hypoklorit (DWTP1 and DWTP4) och monokloramin (DWTP2 and DWTP3).

Aktivitet 4.3.2: Spårning av DBP:s med hjälp av fluorescens.

I den här aktiviteten undersöktes potentialen hos spektroskopi (absorbans och fluorescens) för att uppskatta AOX bildning, bland annat genom att använda differentialspektroskopi. Med denna metod kan man specifikt undersöka den NOM fraktion som reagerar med hypoklorit eller monokloramin. För vattenverk med en betydande mängd organiskt material som absorberar ljus vid punkten för desinfektion (absorbans 254 nm : 0,200 – 0,400 med 5 cm kyvett) kunde skillnaden i absorbans vid 272 nm före och efter tillsats av hypoklorit eller monokloramin förklara AOX bildningen ganska bra (Figur 17). Betydande AOX (medel 37 µg L⁻¹ över fem provtillfällen, olika säsonger) bildades även i det vattenverk där absorbansen var lägre (absorbans 254 nm: medel 0,150 med 5 cm kyvett över fem provtillfällen, olika säsonger). Detta innebär att den AOX som bildades där bestod av mer mättade föreningar och bildades från andra typer av prekursorer. Samband mellan mått som beskriver organiskt material och AOX kommer alltså vara olika beroende på olikheter i det organiska materialet mellan olika vatten. Genom fluorescensanalys kunde en komponent identifieras som påverkades i hög grad efter desinfektion, tillsammans med koncentrationen av polyfenoler och absorbansen vid 420 nm (Andersson et al., 2024). Den komponenten var lik fulvosyror. Eftersom fulvosyror har ett högre syreinnehåll än humussyror kan detta indikera att även syreinnehållet hos det organiska materialet är centralt för AOX bildningen. Ytterligare potential hos fluorescens för DBP-prediktering rör metodens kapacitet att mäta prekursorer som relaterar till bildning av kol-innehållande DBP:s respektive kväve-innehållande DBPs.



Figur 17. Samband mellan Δ272 nm och AOX för fyra vattenverk (vänstra grafen) och när ett vattenverk vars vatten hade mindre organiskt material som absorberade ljus uteslöts (högra grafen).

3.5 Referenser

Ahrens A., Jernstedt H., Gönczi M., Skrobonja A., Wiberg K. [Monitoring for the revised WFD priority list 2023](#), Rapport till Naturvårdsverket, Överenskommelse 213-23-012, Uppsala ,oktober 2024. [FULLTEXT01.pdf](#).

Andersson A., Powers L., Harir M., Gonsior M., Hertkorn N., Schmitt-Kopplin P., Kylin H., Hellström D., Pettersson Ä., Bastviken D. (2024) Molecular level seasonality of dissolved organic matter in

freshwater and its impact on drinking water treatment. Environmental Science Water Research & Technology, 10, 1964. <https://doi.org/10.1039/d4ew00142g>

Andreasson A., Cederqvist F. (2024). Visualizing water system services and assessing risks to drinking water sources – A case study of Mjörn and Fjärås Bräcka. Master's Thesis. Chalmers University of Technology. <https://odr.chalmers.se/items/de19c897-3029-4133-81d1-a15d377c2ca8>

Bengtsson R. & Fernando C. (2024) Algorithms for Detecting Sewage Contamination in Drinking Water Distribution Systems – Comparing Conventional Algorithms and a Machine Learning Approach. Linköpings universitet. <https://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:liu:diva-205298>

Braun O. Rainwater Harvesting: A Study on Gravity-Driven Ceramic Membranes for Non-Potable Water Use. Masters thesis in Chemical Engineering, Lund University. Supervisor: Tobias Hey, Frank Lipnizki <http://lup.lub.lu.se/student-papers/record/9151871>

Diehl S., Manriquez J., Paul C.J., Rosenqvist T. 2025. A convection-diffusion-reaction system with discontinuous flux modelling biofilm growth in slow sand filters. Applied Mathematical Modelling, 137, p.115675. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2024.115675>

Erb I.K., Suarez C., Frank E.M., Bengtsson-Palme J., Lindberg, E., Paul C.J., 2024. *Escherichia coli* in urban marine sediments: interpreting virulence, biofilm formation, halotolerance, and antibiotic resistance to infer contamination or naturalization. FEMS microbes, 5, p.xtae024. <https://doi.org/10.1093/femsmc/xtae024>

Eriksson V. (2023) Suspect screening of organic micropollutants in stormwater (Master of Science thesis). SLU/Uppsala universitet. <https://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:uu:diva-506292>

Feijóo Rey I. Characterization of filamentous cyanobacteria and their effect on slow sand filters. Masters thesis in Molecular Biology, Lund University. Supervisor: Tage Rosenqvist, Catherine Paul <http://lup.lub.lu.se/student-papers/record/9176349>

Frank E.M., Ahlinder, J., Jephson T., Persson K.M., Lindberg E., Paul C.J., 2024. Marine sediments are identified as an environmental reservoir for *Escherichia coli*: comparing signature-based and novel amplicon sequencing approaches for microbial source tracking. Science of the Total Environment, 907, p.167865. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167865>

Fuchs J. 2024. Investigating Drinking Water Biofilms Exposed to Monochloramine. Masters thesis in Biochemistry, Ludwig-Maximilians-Universität, Munich, Germany.

Glynn A. Presentation "Riskrankning av faroämnen i dricksvatten". DRICKS interna AP-webbinarium, 8 november 2024.

Glynn A. Presentation "Riskrankning av kemikalier i dricksvatten-Risktermometern. Svenskt Vattens Forsknings- och innovationskonferens i Uppsala, 6–7 februari 2024

Glynn A., Sand S., Vogs C., Ejhed H., McCleaf P., Wiberg K., Ahrens L., Lundqvist J. (2024) Risktermometern - riskrankning av kemikalier i dricksvatten. Svenskt Vatten Utveckling (SVU) rapport 2024-18. <https://vattenbokhandeln.svensktvatten.se/wp-content/uploads/2024/12/2024-18-SVU-rapport-Risktermometern-%E2%88%92-riskrankning-av-kemikalier-i-dricksvatten.pdf>

Gudmundsson S. (2024). Hydrodynamic modelling of E. coli along the urban coast of Helsingborg (Dissertation). Uppsala universitet. Hämtad från <https://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:uu:diva-539316>.

Gustavsson M., Käll S., Svedberg P., India-Diaz J., Molander S., Coria J., Backhaus T., Kristiansson E. (2024) Transformers enable accurate prediction of acute and chronic chemical toxicity in aquatic organisms. Science Advances, <https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.adk66>

Gärtner, N., Lindhe, A., Wahtra, J., Söderqvist, T., Lång, L.-O., Nordzell, H., Norrman, J. & Rosén, L. (2022). Integrating Ecosystem Services into Risk Assessments for Drinking Water Protection. *Water*. 14(8), 1180. <https://doi.org/10.3390/w14081180>

Kakati S. Prediction of Removal of Per- and Poly-fluoroalkyl Substances (PFAS) from Drinking Water by Nanofiltration and Reverse Osmosis Membranes. Master's thesis in Chemical Engineering, Lund University. Supervisor: Tobias Hey, Frank Lipnizki <http://lup.lub.lu.se/student-papers/record/9162636>

Lindhe A. (2024). Leveranssäkerhetsanalys för dricksvattensystem. För utvärdering av risker och nytta med åtgärder. Svenskt Vatten Utveckling, Rapport 2024-14.

Malnes D., Tyka M., Golovko O. Monitoring for the WFD watch list 2022-2023 (Övervakning för bevakningslistan 2022-2023), *Rapport till Naturvårdsverket, Överenskommelse NV-07506-22*, Uppsala, 30 september 2024. [FULLTEXT05.pdf](#)

Nyström-Kandola J. Per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) – unravelling exposure sources and demographical exposure patterns in a Swedish adolescent population. PhD thesis, Swedish University of Agricultural Sciences (SLU), March 1, 2024. <https://publications.slu.se/?file=publ/show&id=127705>

Rosenqvist T., Chan S., Paul C.J., 2025b. Uncharacterized members of the phylum *Rozellomycota* dominate the fungal community of a full-scale slow sand filter for drinking water production. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2025.123447>

Rosenqvist T., Hilding J., Suarez C., Paul C.J., 2025a. Microbial communities in slow sand filters for drinking water treatment adapt to organic matter altered by ozonation. *Water Research*, 270, p.122843. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2024.122843>

Saguti F. 2024. Identification of viruses, their viability and purification in drinking water. Institute of Biomedicine, Sahlgrenska Academy, University of Gothenburg. <https://gupea.ub.gu.se/handle/2077/81811>

Sand S. Presentation "Riskrankning av kemikalier i dricksvatten". Svenskt Vattens nationella dricksvattenskonferens i Karlstad, 16–17 oktober 2024

Scheich C. Sustainable drinking water production and distribution by understanding biofilm growth and adaptation. AquaClim höstmöten, Göteborg, October 17-18th.

Sokolova E., Prajapati P, Ekman F., Maharjan N., Lindqvist S, Kjellin J., Karlsson A., Bondelind M., Ahrens L., Köhler S. (2025) Modelling PFAS transport in Lake Ekoln: Implications for drinking water safety in the Stockholm region. *Environmental Pollution*, Volume 367, 125581, <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2024.125581>

Takman M., Paul C.J., Davidsson Å., Jinbäck M., Blomqvist S.,Cimbritz M. 2024. MBR and GAC filtration followed by UV disinfection—implications for wastewater reuse at full scale. *Water Reuse*, 14(2), pp.226-239. <https://doi.org/10.2166/wrd.2024.009>

Åkesson L. Evaluating Moving Bed Biofilm Reactors (MBBR) as a step in drinking water treatment using flow cytometry (FCM). Masters thesis in Molecular Biology, Lund University. Supervisor: Caroline Schleich, Catherine Paul <http://lup.lub.lu.se/student-papers/record/9176737>

4. Kommunikation och publicering (AP5)

I detta kapitel beskrivs hur resultaten från forskning och samverkan inom DRICKS har spridits ut till den svenska dricksvattenbranschen men också till övriga forskarvärlden och allmänheten.

4.1 DRICKS seminarier & arrangemang

Under 2024 arrangerades ett DRICKS-internat, en workshop, tre öppna digitala seminarier och fem interna DRICKS-webbinarier.

DRICKS-internat 2024

Den 24–25 januari samlades DRICKS medlemmar i ett soligt Göteborg för att gemensamt arbeta fram projektförslag till klustrets kommande programansökan för perioden 2025–2028. Under dessa två dagar fyllda av diskussioner och idéutbyte låg fokus på att identifiera och prioritera forskningsområden som kan stärka dricksvattenförsörjningen och dess framtida utveckling.

En av höjdpunkterna var en informativ vattenpromenad, där deltagarna fick en inblick i Göteborgs dricksvattenförsörjnings historia och de utmaningar och lösningar som har format stadens vattenhantering. Internatet präglades av ett stort engagemang och en stark vilja att tillsammans driva utvecklingen framåt. Totalt deltog 58 personer, vilket möjliggjorde en mångfacetterad och inspirerande diskussion som kommer att ligga till grund för det fortsatta arbetet.

DRICKS workshops/seminarium

Workshop 2024-04-23

Workshop om informationssäkerhet i Norrköping. Syftet med workshopen var att samla forskare och personal från DRICKS medlemmar för att diskutera hur känsliga data från vattenproducenter kan göras tillgängliga för DRICKS-forskare på ett säkert och smidigt sätt. Under workshopen bjöds flera säkerhetsansvariga från DRICKS medlemmar in för att bidra till diskussionen och utveckla en vägledning för hantering av känsliga data. Resultatet av detta arbete blev en matris och en vägledning för grundläggande säkerhetsarbete inom dricksvattenforskning och forskning i allmänhet. Totalt deltog 20 personer under en heldag på Elite Grand Hotel.

Seminarium 2024-03-18

Seminarium kring DBPs: Metoder och nya rön om desinfektionsbiprodukter i dricksvattenproduktion. Vid seminariet diskuterade Anna Andersson, postdoc vid Linköpings universitet och Elin Lavonen, vattenspecialist på BioCell Analytica viktiga frågor kring naturligt organiskt material (NOM) och dess inverkan på bildningen av desinfektionsbiprodukter i vatten. Fokus låg på hur man kan förebygga uppkomsten av dessa biprodukter, selektivt avlägsna specifika NOM-fraktioner samt på metoder för att mäta toxiciteten hos desinfektionsbiprodukter. Diskussionen modererades av Karin Wiberg från SLU, vilket skapade en dynamisk dialog och ett engagerande utbyte av kunskap. Det digitala seminariet väckte stort engagemang och hade som högst 52 deltagare.

Seminarium 2024-09-12

Slutseminarium av SVU-projektet MiKe, Mikrobiologiska och kemiska risker i dricksvatten. MiKe-projekt har behandlat två komplexa utmaningar vid dricksvattenproduktion: Den första handlar om hur vi ska kunna upptäcka nya eller okända hälsofarliga organiska mikroföroreningar och

blandningseffekter. Den andra fokuserar på hur vi ska säkerställa att inga patogena mikroorganismer kan tillväxa vid distribution av dricksvatten. Under seminariet presenterade Elin Lavonen från BioCell Analytica och Karsten Pedersen projektets arbete och delade med sig av de viktigaste resultaten och slutsatserna. Som flest deltog 73 personer vid det digitala seminariet.

Seminarium 2024-10-23

Slutseminarium av SVU-projektet Hållbara membran för dricksvattenberedning – användning och upphandling. Nashita Moona och Kristin Barkman, dricksvattensspecialister på Sweco, berättade om arbetet, och resultaten från enkäter och intervjuer med personal vid vattenverk som använder membrantechnik. Uppdraget från Svenskt Vatten bestod i att identifiera driftfaktorer som påverkar livslängd och kapacitet hos membran och om möjligt hur dessa ska kravställas vid upphandling. Som flest deltog 54 personer vid det digitala seminariet.

DRICKS-webbinarier

DRICKS arrangerar regelbundet webinarier där pågående forskning presenteras, dessa är tillgängliga för alla DRICKS medlemmar.

DRICKS-webbinarium 2024-03-12

DRICKS-ansökans inriktning presenteras - under webinariet presenterade LG resultaten från omröstningen samt den första sammanställningen av projektidéer som ursprungligen togs fram vid DRICKS-internatet i januari 2024. Samtliga medlemmar i DRICKS var inbjudna att delta, och mötet syftade till att samla in deltagarnas synpunkter inför det fortsatta arbetet. En viktig del av diskussionen var att identifiera vilka projekt som bör prioriteras samt att integrera Svenskt Vattens strategiska frågor för dricksvatten i den kommande ansökan. DRICKS arbetspaketansvariga höll i presentationerna. Efter presentationerna följde en omfattande frågestund, där många deltagare engagerade sig och kom med insiktsfulla inspel. Vid mötets högsta deltagarantal var 33 personer anslutna.

DRICKS-webbinarium 2024-11-08

AP4, Säker vattenkvalitet - under mötet presenterades arbetet med kvantitativa mikrobiella respektive kemiska riskbedömningar (QMRA och QCRA) samt screening efter oönskade ämnen och framtagande av metoder för effektiv faroidentifiering av olika typer av hälsorisker i dricksvatten. Karin Wiberg ledde mötet, och flera experter bidrog med presentationer, däribland Thomas Pettersson och Erik Kristiansson från Chalmers samt Anders Glynn och Lutz Ahrens från SLU. Totalt deltog 30 personer vid webinariet.

DRICKS-webbinarium 2024-11-15

AP2, Framtidens vattenverk - detta arbetspaket fokuserar på framtidens vattenverk, från processer som behövs för biostabilitet till kemisk rening och mikrobiologiska säkerhetsbarriärer. Mötet leddes av Catherine Paul, och flera experter delade med sig av sin kunskap genom presentationer. Bland talarna fanns Tage Rosenqvist, Caroline Schleich och Frank Lipnizki från Lunds universitet, Kate Murphy från Chalmers, Bodil Widell från Nodra, Lutz Ahrens från SLU samt Kristina Nyström från Göteborgs universitet. Webinariet samlade totalt 23 deltagare.

DRICKS-webbinarium 2024-11-22

AP3, Hållbar distribution - detta arbetspaket syftar till att forskningen inom distributionsnätet skall stärkas och integreras med övriga arbetspaket, där exempelvis beredningsprocesser påverkar

dricksvattennätets funktion och dess vattenkvalitet. Mötet leddes av Thomas Pettersson, och flera experter bidrog med insikter genom sina presentationer. Bland talarna fanns Mats Eriksson från LiU, Uchit Sangroula från Chalmers och Catherine Paul från LU. Webbinariet samlade totalt 17 deltagare och möjliggjorde en givande diskussion kring utmaningar och lösningar kopplade till dricksvattennätets hållbarhet och kvalitet.

DRICKS-webbinarium (2024-11-29)

AP1, Säker vattentillgång - detta arbetspaket syftar till att utveckla metoder och kunskap som är tillämpbara i arbetet med att säkerställa tillgången på råvatten av god kvalitet samt uppnå en säker leverans av dricksvatten till konsument. Fokus är på kartläggning och modellering av mikrobiologiska och kemiska risker, bedömning av risker för att identifiera skyddsåtgärder, samt utvärdering och jämförelse av risker och åtgärder för ökad leveranssäkerhet. Mötet leddes av Andreas Lindhe, som inledde med en övergripande presentation av ämnet. Därefter höll Alberto Celma från SLU, Ekaterina Sokolova från UU, Catherine Paul från LU och Nadine Gärtner från Chalmers varsin presentation, där de delade med sig av sina expertkunskaper och insikter. Diskussionerna under mötet berörde viktiga aspekter inom ämnesområdet och gav deltagarna möjlighet att fördjupa sig i relevanta frågor. Totalt deltog 15 personer, vilket skapade en engagerad och konstruktiv dialog.

Ytterligare konferenser

Resultat från forskningen inom DRICKS har även presenterats vid nationella och internationella konferenser, exempelvis:

- **Paul C.** 2024. Biofilm, behövs klorering? Presentation, Svenskt Vatten Nationella dricksvattenkonferensen, October 16-17, Karlstad, Sverige.
- **Schleich C, Björksund-Tuominen M, Paul C. J.** 2024 Microbial Community Changes in newly commissioned PE-pipes in a full-scale Drinking Water Distribution System. NORDIWA, Sept 18-19, Köpenhamn, Danmark.

4.2 Vetenskaplig publicering, konferenser, möten, media

Under 2024 har forskningsresultat inom DRICKS spridits genom vetenskapliga artiklar i ansedda peer review-granskade tidskrifter samt genom tekniska rapporter. Resultaten har även presenterats muntligt, i posterutställningar och som posterbidrag. Både DRICKS-forskare och representanter från medlemskommuner och vattenverk har varit engagerade i en rad nationella och internationella konferenser, webinarier och workshops under året. I kapitel 6 redovisas DRICKS samtliga publiceringar under 2024.

4.3 DRICKS hemsida och nyhetsbrev

DRICKS främsta kanaler för information om verksamheten samt populärvetenskaplig kommunikationen utgörs av vårt nyhetsbrev och hemsidan dricks.se. En naturlig följd av att fem olika lärosäten och många organisationer samlas under DRICKS-namnet är att en stor del av kommunikationen om själva verksamheten dock har en hemvist i respektive lärosätes och medlemsorganisations kanaler.

Hemsida

Webbplatsen www.dricks.se fungerar som en central informationsplattform för DRICKS och dess verksamhet. Här samlas nyheter om forskning och utbildning samt information om kommande

aktiviteter inom vårt nätverk.

Syftet med webbplatsen är att ge en överskådlig presentation av DRICKS, fungera som ett kontinuerligt skyltfönster för våra intressenter och samtidigt knyta samman de fem medverkande lärosätena. Innehållet är i huvudsak statiskt, med undantag för nyhets- och kalenderfunktionerna. Webbplatsen erbjuder även tillgång till olika modeller och verktyg, såsom QMRA-modeller för mikrobiologisk riskbedömning och beslutsstödsverktyget WISER.

Arbetet med webbplatsen och dess innehåll pågår kontinuerligt, både vad gäller strukturutveckling och publicering av material. För närvarande är DRICKS-webben kopplad till Chalmers centrala hemsida. Ett initiativ har dock startats för att skapa en fristående webbplats för DRICKS, oberoende av Chalmers system. Målet är att den nya webbplatsen ska vara i drift under 2025, vilket kommer att ge större flexibilitet i utformningen av innehållet.

Nyhetsbrev

Nyhetsbrevet fungerar som en viktig kanal för att dela forskningsresultat och aktuell information med medlemmar och intressenter. Det har som mål att sprida ny kunskap, lyfta fram pågående och kommande projekt, informera om aktiviteter samt främja engagemang och samverkan. Dessutom ger nyhetsbrevet inblick i nya metoder och arbetssätt inom området.

Prenumerantantalet, som främst består av aktörer inom dricksvattenproduktion, fortsätter att växa. Detta bidrar till att stärka nyhetsbrevets betydelse som en relevant plattform för att sprida forskningsresultat och informera om nya tekniker, modeller och innovationer.

Övrigt

Andra exempel på populärvetenskaplig kommunikation inom DRICKS omfattar medverkan i intervjuer i media, deltagande i paneler och framträdanden vid olika typer av forum och populärvetenskapliga arrangemang och medverkan i projekt för att skapa populärvetenskapligt material om dricksvatten.

5. Undervisning kopplad till DRICKS

I detta kapitel beskrivs de insatser som gjorts inom grundutbildningen, utveckling av kurser och examensarbeten, för att verka för att fler studenter inriktar sig mot dricksvatten i sin utbildning, samt insatserna inom ramen för Vattenforskarsskolan, som drivs i samverkan med de övriga tre SVU-finansierade vattenklustren.

5.1 VA-kurser och kursutveckling

Vid DRICKS lärosäten finns kurser som har direkt koppling till DRICKS och de olika tematiska områden som programmet täcker.

Kurser vid Chalmers

Undervisning på Chalmers inom VA-teknik bedrivs både på kandidat- och civilingenjörs-/master-nivå i nära samverkan mellan forskning och praktik. Vi utbildar både högskoleingenjörer och civilingenjörer inom Samhällsbyggnadsteknik. På kandidatnivå och högskoleingenjörsprogrammet introduceras studenterna till VA-teknik i kursen *Tätorters funktioner och utformning* och får sedan en fördjupning i kursen *Vattenresurser och hydraulik* och en tillämpning i kursen *Hållbar urban utveckling och samhällsplanering*. Den VA-intresserade högskoleingenjören profilerar sig under sitt sista år genom att läsa kurserna *Vattenteknik och miljö*, *Projekteringsmetodik*, *Hållbar utveckling för Samhällsbyggnad och Hydrologi och dagvatten*. Högskoleingenjören avslutar utbildningen genom ett exjobb inom ämnesområdet. Den VA-intresserade civilingenjören läser profilkurserna *Vattenteknik och miljö*, *Hydrogeologi och geoteknik*, *Infrastruktur*, samt *Hydrologi och dagvatten* samt genomför ett Kandidatarbete vilket ger en bas för vidare studier inom vattenområdet.

Masterprogrammet *Infrastructure and Environmental Engineering* ger vattenrelaterade kurser inom infrastruktur och urbana system, vattensystem och modellering, hållbar behandling av urbana vatten, dricksvattenteknik, och avancerad avloppsreningsteknik. Kurserna kopplar samman dricksvatten och va-teknik med riskbedömning och beslutsstöd. Kandidat- och examensarbeten bedrivs i samarbete med VA-sektorn. En nyhet är att studenter som läser programmet *Globala system* kommer från hösten 2023 att kunna välja masterprogrammet *Infrastructure and Environmental Engineering*.

Kurserna som beskrivs nedan ingår framför allt i Masterprogrammet *Infrastructure and Environmental Engineering*, men även några grundkurser med tydliga inslag av va-teknik redovisas.

Dricksvattenteknik (BOM075)

Dricksvattenteknik är en kurs där hela systemet behandlas, vilken delas in i delmomenten; råvatten, beredning, distribution och hälsoriskbedömning. Studenterna utbildas i att använda det svenska QMRA-verktyget, samt MBA- modellen, för att bedöma de hälsomässiga riskerna för konsumenter som försörjs av vattenverk med varierande uppsättningar beredningsprocesser. Inom distributionssystemet så genomför studenterna en dimensionering av ett ledningsnät i ett nytt bostadsområde med hjälp av EPANET-modellen. Kursen som är valfri läses årligen ca 30–40 studenter (både svenska och internationella). Kursen har fått mycket bra kritik av studenterna samt från flera konsultföretag i Göteborg, som anställt nytutexaminerade civilingenjörer med dricksvatten som VA-teknisk huvudinriktning.

Riskbedömning och beslutsstöd (BOM125)

Denna kurs är fokuserad på hur riskbedömningar och specifika beslutsanalyser såsom kostnadsnyttoanalys och multikriterieanalys kan användas som beslutsstöd i syfte att minska existerande risker till en acceptabel nivå. Under kursen lär sig studenterna tekniker för att jämföra åtgärdsalternativ och utvärdera resultaten. För att praktisera de teoretiska kunskaperna får studenterna genomföra ett projektarbete kopplat till ett dricksvattensystem med konstgjord grundvatteninfiltration. I storleksordningen 40–50 studenter läser kursen varje år (svenska och internationella). Kursen har fått mycket goda omdömen.

Hydrogeologi (ACE080)

Kursen ger studenterna en detaljerad förståelse för hydrogeologi vid nyttjande och skydd av grundvattenresurser inom grundvattenförsörjning och infrastruktur. Fokus är på metoder och analysverktyg för grundvattenhydraulik (akviferanalys), utformning av anläggningar för grundvattenuttag och infiltration samt skydd av grundvattenresurser.

Vattensystem och modellering (ACE085)

Digitalisering lyfts av branschen som ett viktigt inslag i utbildningen. Syftet med kursen är att ge studenterna en förståelse för problemlösning och modellering inom området vattenhantering. Kursen är inriktad på vattenkvalitetsmodellering och i storleksordningen 20 studenter läser kursen varje år.

Hydrologi och dagvatten (ACE185)

Kursens övergripande syfte är att studenten ska förvärva fördjupad förståelse om den hydrologiska cykeln i natur- och stadsmiljö och hur denna påverkas av ett förändrat klimat. Studenten ska kunna tillämpa sina förvärvade kunskaper för att beräkna och modellera vattenflöden samt relatera förändringar i hydrologiska processer, t.ex. nederbörd och vattenflöden, till effekter på miljö och samhälle. I storleksordningen 50 studenter läser kursen varje år.

Nedan listas kort kurser som ges på grundutbildningsnivå, men som har ett tydligt inslag av va-teknik eller aspekter av central betydelse för vattenförsörjningen:

- Teknisk samhällsplanering (BOM575), ca 120 studenter
- Vattenresurser och hydraulik (BOM270), ca 120 studenter
- Vattenteknik och miljö (BOM345), ca 40 studenter
- Teknisk geologi (BOM200), >200 studenter

Kurser vid SLU

SLU delar ansvaret för civilingenjörsprogrammet Miljö- och vattenteknik med Uppsala universitet (<https://www.teknat.uu.se/utbildning/student/program-och-kurser/miljo-vattenteknik/>). SLU har ett informellt ansvar för fördjupningsblocket Uthålliga vatten- och avloppssystem (läsår 4 och 5) samt för följande dricksvattenrelevanta kurser:

Vattenresursteknik, 5 hp (MV0190 SLU)

Kursens mål är att ge kunskaper om hur en vattenbyggnadsanläggning dimensioneras utifrån hydrologiska och platsgivna förutsättningar.

Projekt vattenresurser, 10 hp (MV0189 SLU)

Kursens mål är att ge kunskaper om vattenresurserna ur såväl geovetenskapligt som samhällsligt perspektiv och att ge studenten erfarenhet av att analysera behovet av ett vattenanläggningsprojekt, att utforma projektet, samt att analysera dess påverkan på produktion, säkerhet och miljö.

Livscykelanalys för miljö- och vattenteknik, 5 hp (TN0313)

Kursens syfte är att ge kunskaper och färdigheter i att kvantifiera användningen av naturresurser och dess miljöpåverkan ur ett livscykelperspektiv. Kursen syftar också till att tillämpa och utveckla systemtänkande, problemformulering, kritisk granskning, rapportskrivande och muntlig presentation.

Val av VA-system, 10 hp (TE0021 SLU)

Kursens syfte är att ge god helhetssyn och analysförmåga av samhällets vatten- och avloppssystem och därigenom en god grund för en framtida verksamhet som ingenjör inom området. Kursen utgör en sammanhållande del i terminsblocket "Uthålliga vatten- och avloppssystem" och går under hela terminen. I kursen ingår ett större projektarbete.

Vattenverk som är intresserade av att ge uppdragsarbeten (projektarbeten, kandidatarbeten eller examensarbeten) för studenter som läser civilingenjörsprogrammen miljö- och vattenteknik samt energisystem kan göra detta via hemsidan studentkraft.uu. Mest relevanta är arbeten inom miljö- och vattenteknik:

Examensarbete:

<https://studentkraft.uu.se/kurser/examensarbete-i-miljo-och-vattenteknik/>

Kandidatarbete:

<https://studentkraft.uu.se/kurser/sjalvstandigt-arbete-i-miljo-och-vattenteknikkandidatarbete/>

Andra relevanta kurser: SLU ansvarar även för en rad miljövetenskapliga program och kurser och där antropogen påverkan och hantering av vattenresurser ingår, t.ex. EnvEuro-programmet, som är ett samarbete mellan fyra europeiska universitet inom nätverket Euroleague for Life Sciences (ELLS) och där SLU har ansvaret för specialiseringen Vattenresurser.

Kurser vid Uppsala universitet

Som beskrivs under avsnittet kurser på SLU, samarbetar Uppsala universitet och SLU för att utbilda civilingenjörer inom det femåriga programmet Miljö och vattenteknik. De flesta kurser inom programmet har en tydlig anknytning till vattenfrågor, läs mer om programmet här:

<https://www.uu.se/utbildning/utbildningar/selma/program/?pKod=TMV2Y>

Uppsala universitet har också ett tvåårigt mastersprogram inom vattenteknik – Master of Science in Water Engineering. Det programmet ges på engelska och söks främst av internationella studenter, läs mer om programmet här: <https://www.uu.se/en/admissions/master/selma/program/?pKod=TVA2M>

Flera kurser inom programmet handlar om vattenrelaterade utmaningar, nedan beskrivs flera av dessa.

Introduktion till vattenteknik, 15 hp (1HY200)

Kursen ger en gemensam bas till alla studenter på programmet och behandlar grundläggande hydrologi, vattenresursförvaltning, de viktigaste begreppen inom fluidmekanik, introduktion till hydrokemi samt introduktion till digitalisering i vattensektorn. Studenter utvecklas inom

rapportskrivning, presentationsmetoder, grupparbete och projektledning. Kursen behandlar även lika villkor och diskriminering samt etiska aspekter för yrkesutövning.

Vattenkraft och reglerkraft, 5 hp (1TE056)

Historik och vattenkraftverkens utformning. Damm, utskov och vattenvägar. Meteorologi, hydrologi och tillrinning. Reglering och dynamik. Miljö/natur och lagar. Undervattenkraft, pumpkraft, produktionsplanering. Hydromekanik, tillämpad flödesmekanik. Turbin och sugrör. Hydrauliska transienter.

Hydrologiska processer, 10 hp (1HY039)

Mikrometeorologisk teori, energi- och vattenflöden mellan jordytan och atmosfären. Energibalans, avdunstning och nederbörd. Hydrologiska processer i olika klimatzoner. Matematisk beskrivning av grundläggande processer: nederbörd, avdunstning, snösmältning, avrinning, markvattendynamik och grundvattenbildning. Vattenföring, avrinningsbildning och flodvågsspridning. Markvatten och grundvatten. Akviferer, marksättning, grundvattenresursanalys och vanliga ekvationer för grundvattenflöde. Uppskattning av transmissivitet och magasinering med hjälp av Theis- och Jacobmetoder.

Grundvatten- och ytvattenmodellering, 10 hp (1HY041)

Allmänna teorier kring matematisk modellering av hydrologiska system. Integrering av grundläggande processer i hydrologisk modellering i matematiska modeller. Kalibrering, parameteroptimering, validering av avrinnings- och grundvattenmodeller och deras osäkerhet. Reservoarteori. Tillämpning av nederbördsavrinningsmodeller. Principer för föroreningstransport i grundvatten. Modellering av icke reaktiv- och reaktiv föroreningstransport i grundvatten. Parameteruppskattning och geostatistiska/stokastiska metoder för grundvattenmodellering. Tillämpningar med modelleringspaket.

Dricksvattenberedning och ledningsnät, 5 hp (1TV447)

Kursen samläses med civilingenjörsprogrammet i Miljö och vattenteknik, se beskrivning av kursen under avsnitt Kurser vid SLU.

Kommunal och industriell avloppsvattenrening, 5 hp (1TV451)

Historiskt perspektiv på VA-utveckling. Innehållet, flöden och egenskaper av olika avloppsvatten samt potential för resursåtervinning. Genomgång av olika reningsmetoder; mekaniska, biologiska och kemiska processer. Modellering och analys av bioreaktorer. Aktivslamprocessen. Sedimentering. Mikrobiologiska processer inklusive biologisk kväve- och fosforrening, anaeroba processer och anammoxprocessen. Dimensionering och driftoptimering av olika processlösningar med avseende på hållbarhet. Översikt av metoder för industriell avloppsvattenrening. Studiebesök vid ett kommunalt reningsverk.

Vatten och samhälle, 5 hp (1HY043)

Vattenförvaltningshistoria, från hydrauliska verk till integrerad vattenresursförvaltning (IWRM). Förändring av hydrologiska regimer som orsakas av förändringar i markanvändning och urbanisering. Policy och verksamheter (t.ex. kanaler, dammar och reservoarer) som genomförs av samhällen för att hantera tillgången och efterfrågan på vatten. Samhällelig respons på hydrologiska förändringar, vattenförvaltning och påverkan av hydrologiska extremer. Kulturens, teknikens, ekonomins och klimatens roll i att forma det dynamiska samspelet mellan hydrologi och samhälle. Tvärvetenskapliga

ramar som behandlar spelen och återkopplingar mellan vatten- och mänskliga system, från sociekoologiska system till sociohydrologi.

Processreglering, 5 hp (1RT002)

Digital implementering av PID-regulatorn där hänsyn tas till praktiska aspekter såsom integratoruppvridning, stötfri övergång mellan manuell och automatisk drift, börvärdesviktning, val av samplingshastighet, och approximering av derivatadeln för att minska bruskänsligheten. Inställningsmetoder för PID-regulatorn baserat på enkla experiment och estimerade processmodeller. Utvärdering av reglerprestanda och koppling till resurseffektiv drift. Övervakning av reglerprestanda. Reglerstrategier: framkoppling, kaskadreglering och exakt linjärisering. Orientering om några andra vanligt förekommande reglerstrategier.

Digitalisering inom vattensektor, 10 hp (1HY215)

Kursen presenterar drivkrafter och anpassningsåtgärder för digitalisering i vattensektorn, som inbegriper vatten- och avloppsreningsverk, dagvattenhantering samt kopplingen mellan vatten-, livsmedel- och energisektorer. Digitalisering studeras inom ramarna för vattenkvalitetsövervakning, reglering av reningsprocesser samt driften av ledningsnät och reservoarar genom användning av realtidsövervakning, automatiserad reglering, sensorer, fjärranalys samt Internet of Things. Digitaliseringsverktygen som ingår i kursen inkluderar maskininläring, artificiell intelligens samt statistisk och processbaserad mekanistisk modellering. Särskild vikt ges till dataöverförings- och IT-säkerhet samt etik kopplat till digitaliseringen. Kursen inkluderar projektarbete med fallstudier inom digitalisering i vattensektorn.

Examensarbete inom vattenteknik, 30 hp (1HY290)

I examensarbetet ska studenten behandla och redovisa en uppgift som ska vara relevant för masterprogrammet i vattenteknik. Uppgiften ska vara vald så att kunskaper från tidigare kurser kan tillämpas, men också breddas och fördjupas genom att studenten får söka och tillgodogöra sig ny kunskap nödvändig för att utföra arbetet. Omfångsmässigt ska uppgiften vara anpassad för att kunna lösas och redovisas inom given tidsram.

Yrkesanknyten praktik i vattenteknik, 5/10/15 hp (1HY281/1HY282/1HY283)

Studenten väljer i samråd med kursens koordinator en handledare och en plats för sin praktik. Handledaren informerar studenten om projektets mål och metoder vid praktikplatsen. Studenten får möjligheter att under handledning medverka aktivt i det dagliga arbetet på praktikplatsen. Projekt och arbetsuppgifter ska ha anknytning till utbildningen i vattenteknik. Studenten deltar på möten där ämnen relevanta för praktiken diskuteras. Studenten ansvarar själv för att relevant bakgrund till praktiken erhålls.

Digitalt vatten för hållbara städer, 5 hp (1HY850) År 2023 startades den nya kursen i ett hybridformat – kursen ges på distans med en intensiv vecka med fysisk närvaro på campus. Kursen ger kunskap om vattenresursförvaltning i hållbara städer. Introduktion till utmaningar och hållbara anpassningsåtgärder för dricksvattenförsörjning och avloppsvatten samt dagvattenhantering, med fokus på rening, distribution och uppsamlingssystem.

[Kurser vid Lunds universitet](#)

Kusthydraulik (VVRN30)

Introducerar och ger en grundläggande förståelse för tekniska problem och processer som

förekommer i kustzonen och ger inblick i integrerad förvaltning av kustområden där kustproblem och lösningar ses som en integrerad del av samhället.

Hydrologi & Akvatisk Ekologi (VVRA01)

Syftar till att ge en helhetssyn på vattenmiljön utifrån såväl fysiska som biologiska synpunkter. Hydrologi beskriver vattencirkulationen i naturen och under människans påverkan. Akvatisk ekologi beskriver förhållandet mellan de olika komponenterna i den lokala och globala miljön.

Strömningslära (VVRF10)

Ger grundläggande strömningstekniska kunskaper som erfordras för analys och problemlösning inom några viktigare områden med vattenanknytning som en ekosystemstekniker kan komma i kontakt med.

Vatten (VVRA05)

Ger grundläggande kunskaper som erfordras för analys och problemlösning inom några viktigare områden med vattenanknytning som en väg- och vattenbyggare kan komma i kontakt med. Vidare skall studenten i viss utsträckning kunna tillämpa kunskaperna på problem inom vattenbyggnad, stadsbyggnad och vattenförsörjning.

Hydromekanik (VVRN35)

Ger en fysikalisk förståelse för fenomen och begrepp inom komplicerade vattenflöden och introducerar beräkningsmetoder för att analysera en rad viktiga hydrauliska problem. Kursen behandlar huvudsakligen strömning med fri vattenyta med betoning på kanalströmning.

Strömning i naturliga vatten (VVRN40)

Förmedlar en grundläggande förståelse för de fenomen och processer som styr strömning i naturliga ytvatten, med syfte att ge möjlighet att analysera förutsättningar och konsekvenser vad gäller mänskliga aktiviteter i naturen. I begreppet 'aktiviteter' innefattas huvudsakligen utsläpp av föroreningar men samverkan mellan olika typer av konstruktioner och vattenströmning behandlas också liksom grundläggande sedimenttransport.

Integrerad Vattenresursplanering (VVRF01)

Syftar till att förbereda studenterna att arbeta med frågor rörande integrerad vattenresursförvaltning i ett internationellt perspektiv. Kursen har fokus på och genomförs med hjälp av praktiska exempel och projekt. Den behandlar tekniska och icke-tekniska frågor, inklusive de vanligaste vattenmiljöproblemen i både utvecklade länder och i utvecklingsländer.

Avrinningsmodellering (VVRN10)

Behandlar den del av avrinningsområdet som ligger utanför urbaniserat område med fokus på modellering av avrinningsprocesser.

Sommarforsarskola i Kina (VVRF05)

En gemensam sommarkurs vid Xiamen University, Xiamen, Kina. Kursen ges från april-september, där 4 veckor är förlagda i Kina (juni – juli). Genom ett projektarbete tillsammans med kinesiska studenter får du erfarenhet av interkulturellt samarbete i en internationell miljö. I april inleds

studierna med två seminarier, där projekten och litteratur presenteras. Kursen avslutas i september med ett slutseminarium. Självstudier innan avresa ingår. Exakta datum bestäms inför kursstart.

Hållbar Utveckling & Hushållning med Naturresurser (MIDA24)

Denna kurs är ett samarbete med Mastersprogrammet LUMID. Studerar nyttjande och planering av naturresurser i utvecklingsländer från ett socio-ekologiskt perspektiv. Huvudfokus ligger på mark-, vatten- och biologiska resurser med hänsyn till klimatförändringar och variabilitet.

Vatten, Samhälle & Klimatförändringar (VVRN20)

Tillhandahåller metoder och verktyg för anpassning av vattenresurser system med avseende på klimatförändringar och klimatvariationer. Kursen kommer också att ge grundläggande förståelse för de fysikaliska processer som ligger bakom klimatförändringarna och dess effekter på den hydrologiska cykeln.

Vattenrörledningssystem (VVRN25)

Ger en omfattande teoretisk förståelse av hydrauliken bakom rörströmning och rörsystem. I kursen ingår analys, design, planering och förvaltning av rörledningar och rörsystem för vatten, avlopp, fjärrvärme och fjärrkyla

Samt kurserna:

- Direction and Coordination in Disaster Management, VRSN10
- Foundations for Risk Assessment and Management, VRSN05
- Introduction to Societal Resilience, VBRN30
- Preparedness and Planning, VBRN40
- Risk Analysis Methods, VBR180
- Risk Assessment, VBRN01
- Risk Based Land Use Planning, VBR110
- Risk Management Process, VBR171
- Applied Ecotoxicology, BIOR52
- Aquatic Ecology, BIOR82
- Limnology, BIOR17
- Marine Ecology, BIOR65
- Water Management, BIOR66
- Water and Wastewater Technology VVAF01
- Avancerad avloppsvattenhantering VVAN20
- Grundvattenmodellering och föroreningstransport VTGN05
- Grundvattenteknik VTGN10
- Finita elementmetoden – flödesberäkningar VSMN25
- Environment and sustainable development in the Middle East CMEN21
- GEON04 Global and Regional Marine Geology
- GEOA82 Berg, jord och vatten i ett miljöperspektiv
- Geologi i samhället GEOB25
- GEOP06 Hydrogeologi

Vattenforskerskolan

Kurser och nätverksaktiviteter fortsätter inom AquaClim Vattenforskerskolan, som samlar över 80 doktorandstudenter från samtliga av Svenskt Vattens VA-kluster. Catherine Paul (Lunds universitet) från DRICKS är studierektor, och Thomas Petterson ingår i forskarskolans styrgrupp.

Under 2024 inleddes två doktorandprojekt med kopplingar till DRICKS inom Vattenforskerskolan, i samarbete med Sydvatten, ViVAB, Uppsala Vatten och Göteborg Kretslopp och Vatten som industripartners. En doktorand fokuserar på biofilm och hållbar dricksvattenberedning och distribution (C. Schleich, Lunds universitet, ViVAB, Sydvatten). Den andra doktoranden arbetar med hållbar distribution, läckage och minskning av vattenanvändning (U. Sangroula, Chalmers, Göteborg Kretslopp och Vatten, Uppsala Vatten).

Hösten 2024 träffades alla i Göteborg, inklusive de fem doktoranderna med stöd från AquaClim-projektet, och lärde sig om olika projekt och utmaningar. Det var särskilt uppskattat att några industrihandledare från de två DRICKS-doktorandprojekten (Uppsala Vatten och ViVAB) deltog i mötet.

Under 2024 har Vattenforskerskolan erbjudit en blandning av kurser med inriktning på AquaClim-projektets tema samt en uppskattad favorit i repris. Kurserna har haft deltagare både från VA-industrin och bland doktorander. De kurser som genomfördes under 2024 för båda grupperna var:

- Sustainable Governance and Management of Water Supply (Lund, AquaClim)
- Qualitative Research Methods (Uppsala, AquaClim)
- Advanced Urban Wastewater Treatment (Lund, VA-teknik Södra)

5.2 Examensarbeten

Under år 2024 har 30 studenter slutfört totalt 21 examens- och kandidatarbeten inom DRICKS olika områden, som sträcker sig från råvatten till tappkran. Nedan presenteras titlarna och författarna till dessa arbeten.

Den kompletta förteckningen över samtliga examensarbeten för 2024 finns i kapitel 6.5.

6. Referenser

I detta kapitel redovisas alla publikationer som producerats inom DRICKS under 2023 – från vetenskapliga artiklar, forskningsrapporter och doktorsavhandlingar till populärvetenskapliga artiklar.

6.1 Vetenskapliga publikationer

Aragaw T.A., Suarez C., Simachew A., Paul C.J. (2025). The potential of alkaline tolerant microbial consortia for textile wastewater treatment under integrated anaerobic/aerobic conditions: Performance evaluation and microbial community analysis. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 196, p.105939.

<https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2024.105939>

Belay G., Suarez C., Simachew A., Paul C.J. (2025). A systematic evaluation of alkaliphilic microbial consortia from a soda lake for the biodegradation of cyanide-rich wastewater. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 196, p.105937.

<https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2024.105937>

Diehl S., Manriquez J., Paul C. J., Rosenqvist T. (2025). A convection-diffusion-reaction system with discontinuous flux modelling biofilm growth in slow sand filters. *Applied Mathematical Modelling*, 137, 115675.

<https://doi.org/10.1016/j.apm.2024.115675>

Gustavsson M., Käll S., Svedberg P., India-Diaz J., Molander S., Coria J., Backhaus T., Kristiansson E. (2024) Transformers enable accurate prediction of acute and chronic chemical toxicity in aquatic organisms. *Science Advances*. <https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.adk6669>

Islam M.M.M., Bondelind M., Bergion V., Sokolova E. Changing climate and socio-economic conditions as part of quantitative microbial risk assessment of surface drinking water sources: a review. (2025) *J Water Health*, jwh2025486. doi: <https://doi.org/10.2166/wh.2025.486>

Johanson G., Gyllenhammar I., Ekstrand C., Pyko A., Xu Y., Li Y., Norström K., Lilja K., Lindh C., Benskin J.P., Georgelis A., Forsell K., Jakobsson K., Glynn A., Vogs C. Quantitative relationships of perfluoroalkyl acids in drinking water associated with serum concentrations above background in adults living near contamination hotspots in Sweden. 2023 *Environ Res.* 16; 219:115024.

Lundqvist J., Lavonen E., Mandava G., Selin E., Ejhed H., Oskarsson A. (2024) Effect-based monitoring of chemical hazards in drinking water from source to tap: seasonal trends over 2 years of sampling. *Environmental Sciences Europe*.

<https://enveurope.springeropen.com/articles/10.1186/s12302-024-00875-z>

Lundqvist J., Oskarsson A. (2024) Effect-based methods in cultured cells—Valuable tools for detection of chemical hazards in drinking water. *WIREs WATER*.

<https://wires.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/wat2.1730>

Löffler P., Jonsson O., Niemeyer A.S., Dahlberg A.-K., Golovko O., Götling O., Haalck I., Ahrens L., Wiberg K., Lai F.Y. (2024) *In situ* Active Sampling of Steroid Hormones in Water Using a Novel TIMFIE Device: Feasibility Evaluation and Comparison with Traditional Sampling Methods, Sustainable

Approaches to Time Weighted Sampling, *Green Analytical Chemistry* 11:100143.

<https://doi.org/10.1016/j.greeac.2024.100143>

McCleaf P., Stefansson W., Ahrens L. (2023) Drinking water nanofiltration with concentrate foam fractionation—A novel approach for removal of per- and polyfluoroalkyl substances.

<https://doi.org/10.1016/j.watres.2023.119688>

Mumberg T., Ahrens L., Wanner P. (2024). Managed aquifer recharge as a potential pathway of contaminants of emerging concern into groundwater systems – A systematic review. *Chemosphere*, 364, 143030.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.143030>

Ngubane Z., Bergion V., Dzwario B., Stenström T. A., Sokolova E. Multi-criteria decision analysis framework for engaging stakeholders in river pollution risk management.

<https://www.nature.com/articles/s41598-024-57739-y>

Ngubane Z., Bergion V., Dzwairo B., Stenström T. A., Sokolova E. (2024) Multi-criteria decision analysis framework for engaging stakeholders in river pollution risk management. *Scientific Reports*, 14 (1), art. no. 7125DOI: [10.1038/s41598-024-57739-y](https://doi.org/10.1038/s41598-024-57739-y)

Nicolaidis Lindqvist A., Carnohan S., Fornell R., Tufvesson L., Prade T., Lindhe A., Sjöstrand K. (2024). Dynamic marginal cost curves to support water resources management. *Journal of Environmental Management*, 368, 122004.

<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.122004>

Rasmusson K., Fagerlund F. 2024. Per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) as contaminants in groundwater resources – A comprehensive review of subsurface transport processes. *Chemosphere*, Volume 362, August 2024, 142663

Rosenqvist T., Chan S., Ahlinder J., Salomonsson E.N., Suarez C., Persson K.M., Rådström P., Paul C.J. Inoculation with adapted bacterial communities promotes development of full scale slow sand filters for drinking water production. 2024. *Water Research*, 253, p.121203.

<https://doi.org/10.1016/j.watres.2024.12120>

Rosenqvist T., Chan S., and Paul C.J., 2025b. Uncharacterized members of the phylum *Rozellomycota* dominate the fungal community of a full-scale slow sand filter for drinking water production. *Water Research*, 279, p. 123447 <https://doi.org/10.1016/j.watres.2025.123447>

Rosenqvist T., Hilding J., Suarez C. and Paul C.J., 2025a. Microbial communities in slow sand filters for drinking water treatment adapt to organic matter altered by ozonation. *Water Research*, 270, p.122843. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2024.122843>

Sokolova E., Prajapati P., Ekman F., Maharjan N., Lindqvist S., Kjellin J., Karlsson A., Bondelind M., Ahrens L., Köhler S. Modelling PFAS transport in Lake Ekoln: Implications for drinking water safety in the Stockholm region (2025) *Environmental Pollution*, 367, art. no. 125581

[DOI:10.1016/j.envpol.2024.125581](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2024.125581)

Suarez C., Rosenqvist T., Dimitrova I., Sedlacek C.J., Modin O., Paul C.J., Hermansson M., Persson, F. Biofilm colonization and succession in a full-scale partial nitrification-anammox moving bed biofilm reactor. *Microbiome*, 12(1), pp.1-12.

<https://link.springer.com/article/10.1186/s40168-024-01762-8>

Säve-Söderbergh M., Gyllenhammar I., Schillemans T., Lindfeldt E., Vogs C., Donat-Vargas C., Halldin Ankarberg E., Glynn A., Ahrens L., Helte E., Åkesson A. (2024). Per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) and fetal growth: A nation-wide register-based study on PFAS in drinking water. *Environ Int.* 187:108727.

Takman M., Paul C.J., Davidsson Å., Jinbäck M., Blomqvist S., Cimbritz M. MBR and GAC filtration followed by UV disinfection—implications for wastewater reuse at full scale. *Water Reuse*, p. jwrd2024009. <https://doi.org/10.2166/wrd.2024.009>

6.2 Konferensartiklar och andra konferensbidrag

Här listas förutom konferenspresentation även muntliga och poster-presentationer.

Ahrens L. (2024). PFAS treatment techniques – Needs for the future? Dioxin 2024 – 44th International Symposium on Halogenated Persistent Organic Pollutants (POPs), *Singapore, 29 September – 4 October 2024*. Muntlig presentation.

Feijóo Rey I., Rosenqvist T., Chan S., Paul C.J. 2024 Characterization of cyanobacteria and their impact on slow sand filter clogging. *NORDIWA, Sept 18-19, Köpenhamn, Danmark*. Poster presentation.

Feijóo Rey I., Rosenqvist T., Chan S., Paul C.J. 2024. Characterization of cyanobacteria and their impact on drinking water production. *ISME 19 (International Symposium on Microbial Ecology)*, August 2024, Cape Town, South Africa. Poster presentation.

Glynn A. Low-grade contaminated drinking water – a significant source of PFAS exposure for Swedish adolescents. Poster presentation. *National PFAS conference, Ann Arbor, USA, 10–12 juni 2024*.

Glynn A. Presentation "Riskrankning av kemikalier i dricksvatten-Risktermometern. Svenskt Vattens Forsknings- och innovationskonferens i Uppsala, 6–7 februari 2024

Glynn A. Presentation "Riskrankning av faroämnen i dricksvatten". *DRICKS interna AP-webbinarium*, 8 november 2024.

Lindhe A., Engblom K. (2024). Metoder för beslutsstöd i investeringsplanering - exempel från Göteborg. Presentation, *Svenskt Vatten, Nationell dricksvattenkonferens, Oktober 16-17, Karlstad*.

Mumberg T., Ahrens L., McCleaf P., Pott B-M., Wanner P. (2024). Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS) Entering Groundwater Systems and Drinking Water Supplies via Managed Aquifer Recharge. *Dioxin 2024 – 44th International Symposium on Halogenated Persistent Organic Pollutants (POPs), Singapore, 29 September – 4 October 2024*. Muntlig presentation.

Niarchos G., Six L., Togola A., Polesello S., Valsecchi S., Duffek A., Ahrens L., Oulio V., Verkamp K. (2024). Tracing PFAS contamination pathways from sources to aquatic ecosystems: first findings from

European case studies. Dioxin 2024 – 44th International Symposium on Halogenated Persistent Organic Pollutants (POPs),
Singapore, 29 September – 4 October 2024. Muntlig presentation.

Paul C.J. 2024. Biofilm, behövs klorering? Presentation, Svenskt Vatten, Nationell dricksvattenkonferens, Oktober 16-17, Karlstad, Sverige.

Paul C.J. 2024. AquaClim: a research school connecting doctoral students and water utilities. NORDIWA, Sept 18-19, Köpenhamn, Danmark. Muntlig presentation.

Paul C.J., Suarez C., Åkesson, L., Rosenqvist T., Schleich C., McEvoy A., Murphy K., Piculell M., Chan S. 2024. Drinking water treatment with Moving Bed Biofilm Reactors. NORDIWA, Sept 18-19, Köpenhamn, Danmark. Muntlig presentation.

Paul C.J., Rosenqvist T., Manriques, J., Chan S., Suarez C., Persson K.M., Hilding J., Rådström P., Diehl S. 2024. Engineerihe microbial biofilm community in slow sand filters for drinking water production. NORDIWA, Sept 18-19, Köpenhamn, Danmark. Muntlig presentation.

Pettersson, T. J. R. 2024. Drinking water research and regulations in Sweden and EU for sustainable and safe water supply (Keynote). IWA Water Safety Conference, 4-6 September, Montevideo, Uruguay.

Pettersson, T. J. R., Sangroula, U., Viñas, V., Odhiambo, M. 2024. Strategies For Effective Leakage Risk Management in Water Distribution Networks IWA Water Safety Conference, 4-6 September, Montevideo, Uruguay.

Sand S. Presentation "Riskrankning av kemikalier i dricksvatten". Svenskt Vattens nationella dricksvattenskonferens i Karlstad, 16–17 oktober 2024

Schleich C, Björksund-Tuominen M, Paul C. J. 2024 Microbial Community Changes in newly commissioned PE-pipes in a full-scale Drinking Water Distribution System. NORDIWA, Sept 18-19, Köpenhamn, Danmark.

Skovhus Lund, T., Paul C.J., Halle C. Fostering Collaborative Research in the Nordic Water Sector: Identifying Gaps and Proposing Joint Solutions. NORDIWA, Sept 18-19, Köpenhamn, Danmark. Workshop.

Sokolova E., Kristiansson E., Gustavsson M. SETAC Europe 34th Annual Meeting on 5–9 May 2024 in Seville, Spain" Modelling Fate and Transport of Pharmaceutical Active Ingredients in a Swedish Lake Receiving Wastewater Effluents".

Wiberg K., Yin Lai F., Ahrens L. Uppsala Health Summit, Chemical Pollution and One Health - from Reactivity to Proactivity, 24-25 oktober, 2023. Uppsala Health Summit.

Xing C., Wåhlander L., McCleaf P., Ahrens L. (2024). Pilot-scale continuous foam fractionation for the removal of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) from flotation sludge in a drinking water treatment plant. Dioxin 2024 – 44th International Symposium on Halogenated Persistent Organic Pollutants (POPs), *Singapore, 29 September – 4 Oktober 2024. Muntlig presentation.*

6.3 Doktors- och licentiatavhandlingar

Aina McEvoy, Chalmers - Sensor-based Methods for an Improved Understanding of Biological Water Treatment. Licentiatavhandling, Göteborg: Department of Architecture and Civil Engineering, Chalmers University of Technology, 2024.

Fredy Saguti, GU - Identification of viruses, their viability and purification in drinking water. Doktorsavhandling. Institute of Biomedicine, Sahlgrenska Academy, University of Gothenburg <https://gupea.ub.gu.se/handle/2077/81811>

Jennifer Nyström-Kandola, SLU - Per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) – unravelling exposure sources and demographical exposure patterns in a Swedish adolescent population. Swedish University of Agricultural Sciences (SLU), March 1, 2024. <https://res.slu.se/id/publ/127705>

Kim Frieberg, SLU - Effektbaserad analys för att upptäcka kemiska faror i vatten, 25 oktober 2024. <https://pub.epsilon.slu.se/35313/1/frieberg-k-20241004.pdf>

Sebastian Pineda, SLU - Socio-demographic inequalities in the chemical exposome: risk assessment and associations with markers of immune system function, 18 okt 2024. <https://publications.slu.se/file=publ/show&id=130485&lang=en>

Zesizwe Ngubane - Development of a multi-criteria decision-support tool for improving water quality to assist with engineering infrastructure and catchment management. Durban tekniska universitet i Sydafrika. <https://www.dut.ac.za/two-kids-and-a-phd-for-dut-graduate/>

6.4 Rapporter

Glynn A., Sand S., Vogs C., Ejhed H., McCleaf P., Wiberg K., Ahrens L., Lundqvist J. (2024) Risktermometern - riskrankning av kemikalier i dricksvatten. Svenskt Vatten Utveckling (SVU) rapport 2024-18. <https://vattenbokhandeln.svensktvatten.se/wp-content/uploads/2024/12/2024-18-SVU-rapport-Risktermometern-%E2%88%92-riskrankning-av-kemikalier-i-dricksvatten.pdf>

Lindhe A. (2024). Leveranssäkerhetsanalys för dricksvattensystem. För utvärdering av risker och nytta med åtgärder. Svenskt Vatten Utveckling, Rapport 2024-14.

Ulinde E., Cornelius G., Lindhe A., Sylwan I., Dahlberg A.K., Wiberg K., Malm M., Farquharson L., Hübinette M., Englund M., Eveborn D., Gustafsson J.P., Löffler P., Sindhøj E. (2024). Filtermaterial i markbaserade avloppsanläggningar – Hållbara alternativ till naturgrus. Naturvårdsverket, Rapport 7160.

6.5 Examensarbeten

Allansson T. (2024). Rainwater harvesting in rural Kenya: How can a sufficient volume of safe drinking water be ensured though rainwater harvesting at schools? (Dissertation). Uppsala universitet. Hämtad från <https://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:uu:diva-534578>

Andreasson A., Cederqvist F. (2024). Visualizing water system services and assessing risks to drinking water sources – A case study of Mjörn and Fjärås Bräcka. Master's Thesis. Chalmers University of Technology. <https://odr.chalmers.se/items/de19c897-3029-4133-81d1-a15d377c2ca8>

Bengtsson R., Fernando C. (2024) Algorithms for Detecting Sewage Contamination in Drinking Water Distribution Systems – Comparing Conventional Algorithms and a Machine Learning Approach. Linköpings universitet. <https://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:liu:diva-205298>

Braun O. 2024. Rainwater Harvesting: A Study on Gravity-Driven Ceramic Membranes for Non-Potable Water Use. Master's thesis in Chemical Engineering, Lund University. Supervisor: Tobias Hey, Frank Lipnizki <http://lup.lub.lu.se/student-papers/record/9151871>

Broström S. Per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) in the Hammarby groundwater reservoir - Evaluation of potential sources using particle tracking. Examensarbete i miljö- och vattenteknik, SLU/ Uppsala universitet. DiVA: <https://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:uu:diva-535329>

Cederberg B., Eriksson Segerström K. (2024). Risk assessment of current and future harmful algal bloom in surface water sources – A study of four Swedish drinking water sources. Master's Thesis. Chalmers University of Technology. <https://odr.chalmers.se/items/3b02585b-5528-44b2-9fa0-54643cfa4093>

Chandrashekar Goud Gundrathi. Discrimination of Oil, Natural Water, and Wastewater Signals through Fluorescence Spectroscopy. Master's student thesis. Chalmers. <http://hdl.handle.net/20.500.12380/308827>

Coenders H. 2024. Monitoring anthropogenic impacts on microbial water quality in an agriculture context. Master's thesis in Biotechnology, Technical University of Berlin, Germany. Supervisors: Isabel Erb, Catherine Paul.

Dahlin E. Grundvattenpumpning som saneringsåtgärd för PFAS – en modellstudie vid Sundsvall-Timrå Airport. DiVA: <https://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:uu:diva-551876>

Feijóo Rey I. Characterization of filamentous cyanobacteria and their effect on slow sand filters. Masters thesis in Molecular Biology, Lund University. Supervisors: Tage Rosenqvist, Catherine Paul <http://lup.lub.lu.se/student-papers/record/9176349>

Ferndahl S. (2024) Removal efficiency of multiple per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) in groundwater at a landfill using granular activated carbon (GAC) and anion exchange (AIX) column tests. (Dissertation). SLU/ Uppsala universitet. Hämtad från <https://uu.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1869707&dswid=9436>

Fuchs J. 2024. Investigating Drinking Water Biofilms Exposed to Monochloramine. Master's thesis in Biochemistry, Ludwig-Maximilians-Universität, Munich, Germany in cooperation with Lund University. Supervisors: Tage Rosenqvist, Catherine Paul

Gudmundsson S. (2024). Hydrodynamic modelling of E. coli along the urban coast of Helsingborg (Dissertation). Uppsala universitet. Hämtad från <https://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:uu:diva-539316>

Hagberg M., Karlgren K. (2024). Efforts and potential for digitalization in the Swedish water industry. Master's Thesis. Chalmers University of Technology. <https://odr.chalmers.se/items/b226b735-0ea1-4f72-8ab6-98ff1df96347>

Hansson F., Wu L. (2024). Technology selection for removal of PFAS from raw water for drinking water purposes. Master's Thesis. Chalmers University of Technology. <https://odr.chalmers.se/items/6559552f-8723-4915-a6e3-ad2cb3aed082>

Jabiribrahim R. (2024). Water Safety Plan and Risk Assessment for Norrvatten from Catchment Area to Raw Water Intake (Dissertation). Uppsala universitet. Hämtad från <https://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:uu:diva-542535>

Mazinga K. (2024). Hydrodynamic Modelling of Water Temperature Distribution in Lake Erken, Sweden (Dissertation). Uppsala universitet. Retrieved from <https://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:uu:diva-532716>

Speksnijder B. (2024) Evaluation of the biochar capacity for removal of pharmaceuticals from tertiary wastewater effluent. SLU thesis, available after 2025-12-31.

Storm N. (2024) Contaminants of Emerging Concern: Non-Target Screening of Landfill Leachate over the Seasons. SLU thesis, available after 2025-12-31.

Törnfeldt R., Siadat L., Tjell E., Sunnerstedt P., Sundberg W. (2024). Mälarens framtida vattenkvalitet: Klimatförändringarnas effekt på dricksvattenproduktionen vid Görväln (Dissertation). Uppsala universitet. Hämtad från <https://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:uu:diva-530110>

Åkesson L. Evaluating Moving Bed Biofilm Reactors (MBBR) as a step in drinking water treatment using flow cytometry (FCM). Master's thesis in Molecular Biology, Lund University. Supervisors: Caroline Schleich, Catherine Paul <http://lup.lub.lu.se/student-papers/record/9176737>