

Verksamhetsberättelse för

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

DRICKS 2022



Sammanfattning

DRICKS programperioder är från år 2022 synkroniserade med övriga VA-kluster som finansieras av Svenskt Vatten, vilket har underlättat både administration och samverkan. Forskningen leds av de fem medlemsuniversiteten Chalmers, SLU, Lunds universitet, Uppsala universitet och Linköpings universitet och sker i nära samarbete med branschen. Under 2022 har elva medlemsorganisationer, kommunala vattenproducenter, förnyat sitt medlemskap i DRICKS. Forskningen baserad på SVUs finansiering inom DRICKS är till stor del uppdelad i fyra arbetspaket inom vilka olika projekt och fallstudier äger rum.

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

Under 2022 såg vi slutet på pandemin och forskningen har inom DRICKS fortsatt kunnat bedrivas där sammanträden som seminarier, evenemang och möten första halvåret skedde i digitalt format för att succesivt övergå till även fysiska träffar. Under året har arbetet inom AP1-4 genomförts. Inom AP 1 har man exempelvis utvecklat verktyget WISER, vilket är ett multikriterieverktyg som ger praktiskt stöd i beslutsprocesser. Verktyget går att ladda ner ifrån DRICKS hemsida. I AP 2 har man under året bland annat gjort studier av elektronisk tunga, vilket är sensorer som placeras ut i ledningsnätet för att mäta olika substanser och som därmed kan ge varningar ifall man upptäcker anomalier. Inom AP3 har man undersökt förekomst av kemiska ämnen och barriärverkan. Exempelvis har man undersökt avskiljningsförmågan av läkemedel och PFAS. I AP4 ligger fokus på biofilter och mikrobiologiska barriärer och under året har studier som omfattar mer avancerad bioinformatik genomförts i projekt som berör långsamfilter, utfasningen av monokloramin, påverkan av olika doser UV ljus på logreduktion av virus, och barriärfunktion av olika steg i vattenverk för vattenåteranvändning i fullskala.

För att nå ut med forskningsresultat till branschen och andra forskare anordnar DRICKS olika möten och evenemang. Under 2022 arrangerades en workshop i informationssäkerhet och ett digitalt seminarium på temat rationell mikrobiell analys för biostabilt vatten. Under 2022 blev även Företagsgruppen en officiell del av DRICKS. DRICKS har deltagit i externt anordnade möten och konferenser för att sprida kunskap. Under 2022 presenterades 3 licentiatavhandlingar inom DRICKS. Dessutom har 17 studenter genomfört 11 examensarbeten och kandidatarbeten inom hela DRICKS verksamhetsområde – från råvatten till tappkran. Slutligen har det under året publicerats flera vetenskapliga artiklar och tekniska rapporter, och de fem medlemsuniversiteten har gett många kurser med koppling till vattenfrågor där målsättningen är att få fler studenter att välja 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.....	7
3. Forskningsresultat	8
3.1 Säker vattentillgång (AP1).....	8
3.2 Framtidens vattenverk (AP2).....	14
3.3 Hållbar distribution (AP3)	26
3.4 Säker vattenkvalitet (AP4).....	38
4. Kommunikation och publicering (AP5)	43
4.1 DRICKS-seminarier & arrangemang	43
DRICKS-internat 2022	43
DRICKS workshops/seminarium.....	44
DRICKS-möten.....	44
Ytterligare konferenser	46
Vattenforskarskolans årliga möte	46
4.2 Vetenskaplig publicering, konferenser, möten, media	46
4.3 DRICKS hemsida och nyhetsbrev	47
Hemsida.....	47
Facebook	47
Övrigt	48
5. Undervisning kopplad till DRICKS.....	48
5.1 VA-kurser och kursutveckling.....	48
Kurser vid Chalmers.....	48
Kurser vid SLU	50
Kurser vid Uppsala universitet.....	51
Kurser vid Lunds universitet	53
Vattenforskarskolan.....	55

5.2	Examensarbeten	55
6.	Referenser	57
6.1	Vetenskapliga publikationer.....	57
6.2	Konferensartiklar och andra konferensbidrag (muntliga såväl som posterpresentationer) .	60
6.3	Doktors- och licentiatavhandlingar	61
6.4	Rapporter	61
6.5	Examensarbeten	62

1. Bakgrund

Svensk dricksvattenforskning minskade betydligt i omfattning under 1990-talet och början av 2000-talet på grund av minskade ekonomiska resurser för forskning och utveckling (FoU) inom va, vilket innebar att forskningsverksamheten vid landets högskolor i allmänhet, och vid Chalmers i synnerhet, var på väg att i princip upphöra. Chalmers beslutade 2002 att göra en satsning för en nystart av den historiskt framgångsrika dricksvattenforskningen vid Chalmers och startade i slutet av 2003 DRICKS, *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

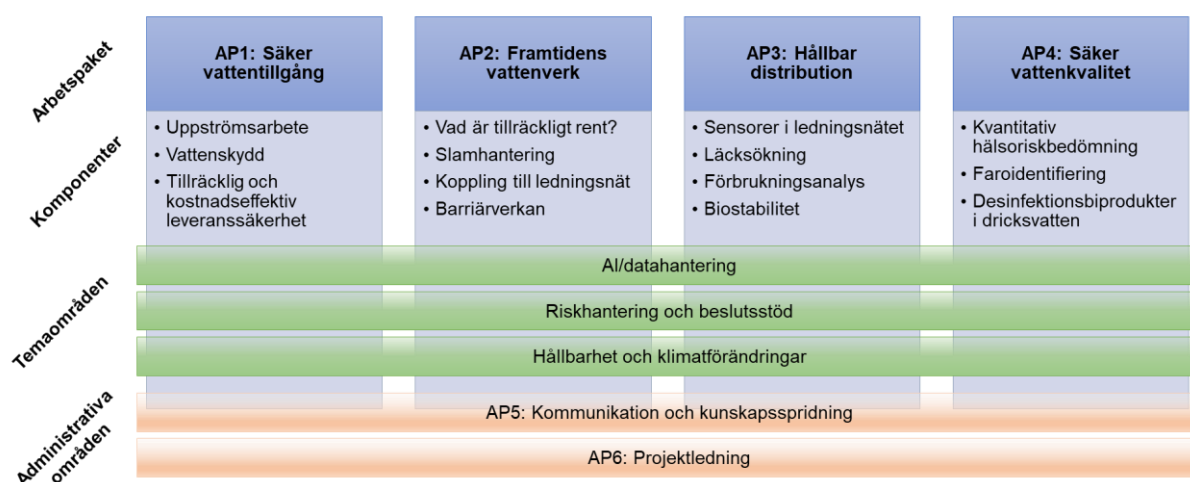
I detta avsnitt beskrivs hur DRICKS olika verksamheter binds ihop genom integrerade projektdelar, vilka finansörer som bidragit med finansiering och hur de övergripande arbetspaketen samverkar för att täcka de delområden som DRICKS i tidigare program delat in dricksvattenområdet i.

2.1 DRICKS projektbeskrivning

DRICKS arbete har under 2022 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 2022.

Föreståndare för DRICKS är Thomas Pettersson och vice föreståndare är Andreas Lindhe. I februari anställdes Louise Kärnell i rollen som 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

Inom DRICKS har vi sedan starten 2003 haft ett nära och produktivt samarbete med dricksvatten-branschen. Under 2022 hade DRICKS 11 medlemsorganisationer. Merparten av projektsamarbetena har under året genomförts i de fyra arbetspaketen, vars resultat presenteras i kapitel 3. Nedan beskrivs några exempel som visar hur samverkan sett ut mellan DRICKS forskare, medlemmar, företagsgrupp och branschen i övrigt.

Chalmers har i samverkan med Lunds universitet, Kommunalförbundet Vatten & Miljö i Väst AB (Vivab), Trollhättan Energi, Kungälv Kommun, Göteborgs stad Kretslopp och Vatten, Nodra AB och konsultbolaget Ramboll, testat nya metoder för att mäta biostabilitet i dricksvattenprover baserat på fluorescens och syrekonsumtion. Projektet Oxidation Demand and Rate (ODaR) as a sensitive proxy of biostability in drinking water (Formas 2021-01411), med finansiering från nämnda dricksvattenproducenter och Formas, syftar till att snabbt kunna mäta AOC och återväxt potentialen hos vattenproducenten på ett billigt sätt. Medfinansiering kommer även från Lisshedsstiftelsen och J. Gust. Richerts stiftelse.

Chalmers har tillsammans med Lunds universitet, Technical University of Denmark (DTU), Sveriges lantbruksuniversitet, Kommunalförbundet Vatten & Miljö i Väst AB (Vivab), Kungälv Kommun och Göteborgs stad Kretslopp och Vatten börjat utveckla och demonstrera ett nytt system för att optimera GAC -drift baserad på en optisk sensor. Nyttiggörandeprojektet New Eyes on Old GAC: Toward automated control of activated carbon filters in drinking water treatment (Formas 2022-01974), med finansiering från nämnda dricksvattenproducenter och Formas, syftar till att bättre kunna uppskatta när GAC medier behöver bytas ut.

Lunds universitet har i samarbete med Trollhättan Energi AB undersökt påverkan av ozonering som förbehandlingssteg på långsamfilters mikrobiella samhällen. Finansiering från DRICKS och Formas (2019-00432) har tillåtit oss att identifiera ett flertal mikroorganismer som gynnas av ozonering, samt gett indikationer om vilka genetiska faktorer som kan vara anledningen till detta.

Lunds universitet har i samarbete med Sydsvatten AB, VA SYD AB, Norrvatten AB och Kommunalförbundet Vatten & Miljö i Väst AB (Vivab) utforskat hur flödescytometri kan övervaka biostabilitet i dricksvattnets torn och ledningsnät. Det har använts för att t.ex övervaka mikrobiella förändringar då monoklorin tagits bort när vatten transporteras genom vattentornet, och vad som händer inom vattentornet som kan påverka vattenkvaliteten.

Tillsammans med Kretslopp och vatten, Göteborgs stad, samt ytterligare 12 kommuner som ingår i Göteborgsregionens kommunalförbund har Chalmers påbörjat en regional leveranssäkerhetsanalys av dricksvattenförsörjningen. Målet är att bl.a. belysa beroenden mellan kommunernas försörjningssystem samt visa hur åtgärder kan öka säkerheten i en eller flera kommuner. Syftet är att resultaten ska ge ökad förståelse över förutsättningarna i regionen, samt bidra med beslutsunderlag kopplat till vilka som drar nytta av olika åtgärder och hur kostnaderna kan vägas in då åtgärderna prioriteras.

Det inom DRICKS utvecklade beslutsstödsverktyget WISER (*Water Investments for Sustainability Enhancement and Reliability*) har under året tillämpats inom branschen. Exempelvis har Sydvatten använt verktyget med vägledning från Chalmers för att utvärdera och jämföra processlösningar.

DRICKS Företagsgrupp bestod under sitt första verksamhetsår (2022) av 7 st medlemmar: konsultbolagen Sweco, AFRY, DHI och EnviDan/VA-Ingenjörerna, forskningsinstitutet RISE samt analysföretagen Micans och BioCell Analytica. Under året startades projektet "MiKe – mikrobiologiska och kemiska risker i dricksvatten" av BioCell Analytica och Micans med projektmedel från Svenskt Vatten Utveckling, DRICKS samt 15 st deltagande VA-organisationer. Från DRICKS deltar Norrvatten, NOVf, Göteborg KoV, VIVAB, Vätternvatten och Uppsala Vatten. Projektet består av två arbetspaket – ett som drivs av Micans med fokus på biostabilitet, assimilerbart organiskt kol och biofilmstillväxt och ett som drivs av BioCell Analytica där effektbaserad analys används för att mäta förekomst av okända kemiska föroreningar samt cocktaileffekter. Projektet kommer att pågå till 2024 och resultera i en SVU-rapport.

2.3 Användning av Svenskt Vattens medel

Under 2022 har Svenskt Vatten Utveckling (SVU) finansierat DRICKS med 2 600 kkr, fördelat på Chalmers 1201 kkr, SLU 248 kkr, Lunds universitet 370 kkr, Linköpings universitet 137 kkr samt Uppsala universitet 96 kkr.

De totala kostnader som DRICKS haft under 2022 har uppgått till 2377 kkr. En mer detaljerad ekonomisk redovisning av kostnaderna under 2022 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 2022.

3.1 Säker vattentillgång (AP1)

Detta arbetspaket syftar till 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 2022. Samordnande för AP1 är Andreas Lindhe.

Komponent 1.1 - Uppströmsarbete (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: Analys av utsläppsmodellers potential som ett verktyg för att säkerställa tillgången på råvatten av god kvalitet samt att spåra utsläppskällor.

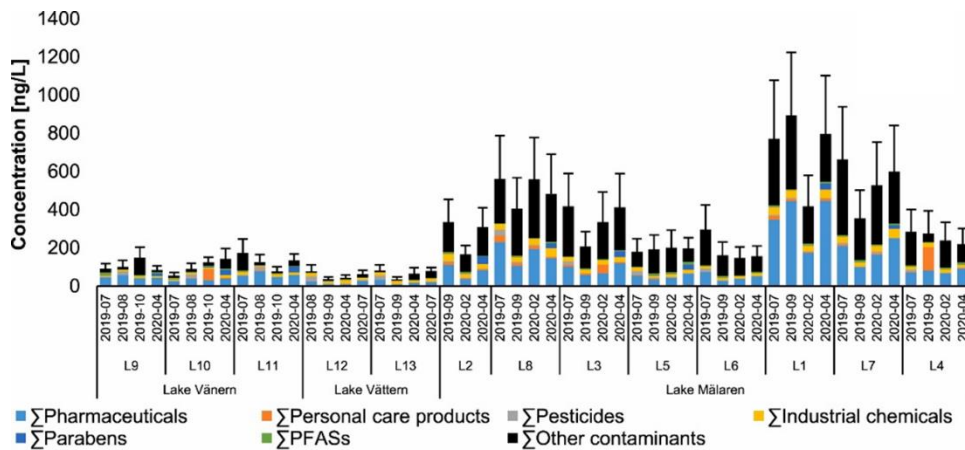
Vi har startat ett pilotprojekt för att undersöka om utsläppsmodellering och vattenkvalitetsmodellering kan ge oss nya insikter kring risken för att kemikalier når råvatten. Vi har här anpassat vår utsläppsmodell för Kungsängsverket, Uppsala, samt uppskattat utsläppen från reningsverket baserat på kemikalieanvändningen i samhället. Preliminär data baserad på övervakningsdata visar att modellen har en god prediktiv förmåga. Vi arbetar nu på att använda den hydrodynamiska modelleringen för att uppskatta var utsläppen transporteras.

Aktivitet 1.1.2: Kemisk analys av organiska mikroföroreningar i sjöarna Mälaren, Vänern och Vättern.

Som del av denna aktivitet har en vetenskaplig artikel publicerats under 2022 om förekomst och halter av ett brett spektrum av organiska mikroföroreningar i vattenprover från Mälaren, Vänern och Vättern och deras tillrinningsområden (Malnes et al, 2022). Över 100 kemiska ämnen analyserades i prover från vattenverk, avloppsreningsverk och vattendrag, i och kring sjöarna. Majoriteten av ämnena som analyserades var aktiva substanser i läkemedel ($n=71$), medan en annan viktig ämnesgrupp var per- och polyfluorerade alkylsubstanser (PFAS; $n=13$). Övriga ämnen tillhörde grupperna industrikemikalier ($n=8$), produkter för personlig vård ($n=4$), parabener ($n=3$), bekämpningsmedel ($n=2$) och övriga ($n=4$). God kunskap om förekomst och halter av de analyserade ämnena är viktig av flera olika anledningar. Läkemedel har producerats för att ge en biologisk effekt i låga koncentrationer och om de hamnar i den akvatiska miljön är det svårt att fullt ut förutsäga vilka konsekvenser det kan få, medan PFAS-ämnena har visat sig vara persistenta kemikalier. Många av de analyserade ämnena har hormonstörande påverkan, vilket innebär att människans och miljöns exponering bör reduceras i möjligaste mån.

Studien är den första systematiska genomgången av organiska mikroföroreningar i Sveriges tre största sjöar och deras tillrinningsområden. Totalhalterna av de detekterade ämnena var generellt högre i åarnas vatten (31–5 200 ng/L; median 440 ng/L) än i sjövattnet (36–900 ng/L; median 190 ng/L). Mälaren uppvisade generellt högre halter än Vättern och Mälaren (figur 2). På platser med stor påverkan från stadsmiljöer observerades säsongsvariationer för hygienprodukter, parabener, antihistaminer, antidiabetika, anti-neoplastiska medel, antibiotika och fungicider. Median-

belastningen via åarnas inflöden till sjöarna var 180 g/dag (intervall 4,0–4300 g/dag), med en total belastning på 5 000 g/dag till sjön Vänern, 510 g/dag till Vättern, och 5 600 g/dag till sjön Mälaren. Sjöarnas viktiga roll som ekosystem, råvattentäkter och rekreationsområden motiverar uppföljande studier av t.ex. påverkan på ekosystemen och riskrankning av ämnen som även detekteras i färdigt dricksvatten.

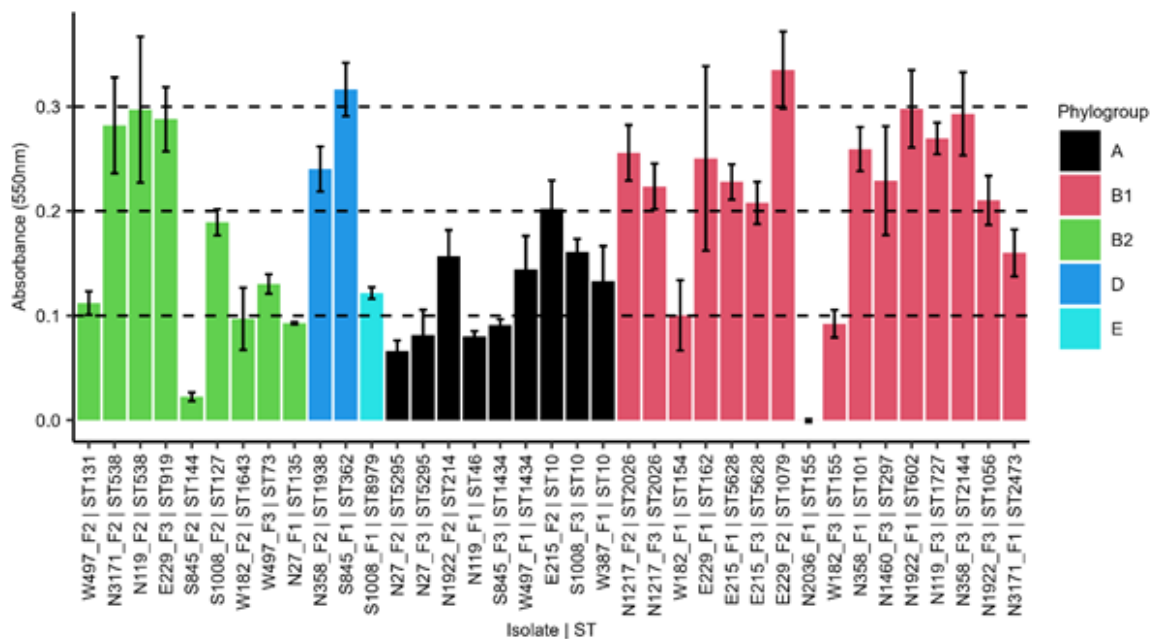


Figur 2: Summahalter (ng L^{-1}) av organiska mikroföroreningar i sjövattneprover ($n=51$) från Vänern, Vättern och Mälaren.

Aktivitet 1.1.3: Källspårning av fekalförorening i råvattnet med DNA sekvensering och online mätningar.

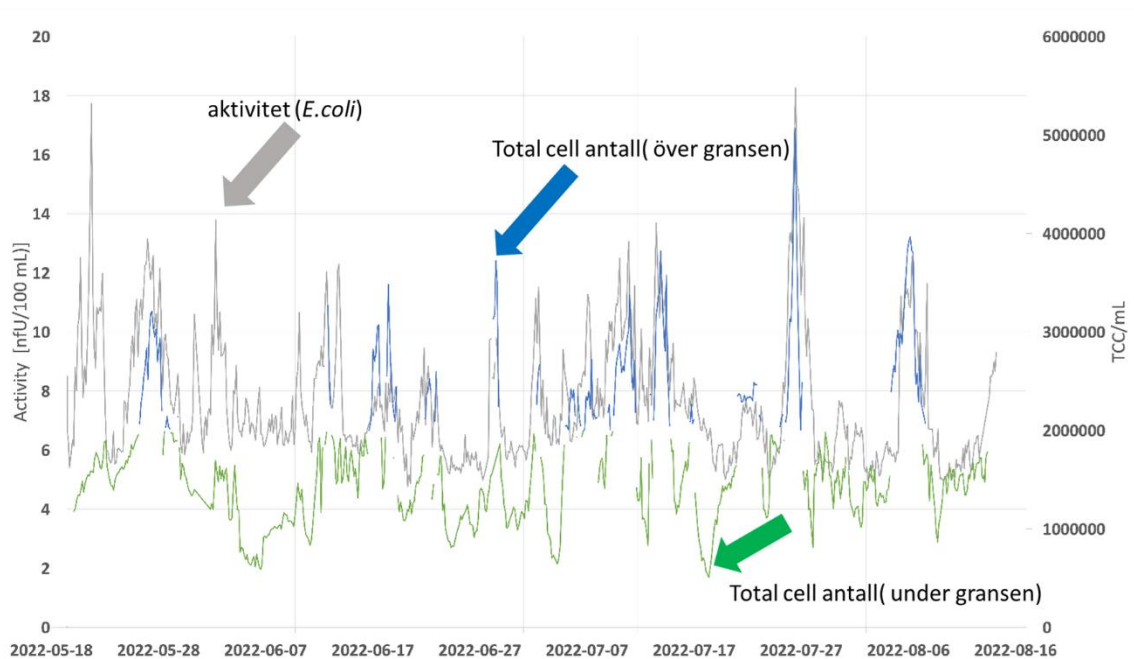
Projektet Urbana bad, som leds av Sweden Water Research i samarbete med Lunds universitet, Högskolan i Kristianstad, Malmö stad, Helsingborg stad, NSVA och VA SYD, utforskar källor till dåligt badvatten. Badvatten kan också vara råvatten för dricksvattenproduktion och det här projektet handlar om ny kunskap kring övervakning av mikrobiell vattenkvalitet. Vi förbereder en publikation som beskriver tre olika bioinformatiska strategier för källspårning av *E. coli* i sediment. Studien har visat att bakterier med ursprung i avloppsvatten kan finnas i sediment, och att det är dagliga utsläpp av avloppsvatten som är källan till *E. coli* (och inte exempelvis bräddning).

Vi isolerade 40 olika stammar av *E. coli* från kontaminerade sediment. Vi karakteriserade stammarnas genom m.h.a. helgenomsekvensering, och utförde labbstudier för att jämföra deras förmåga till biofilmproduktion, salttolerans, och resistans mot olika typer av antibiotika. Bioinformatisk analys identifierade många gener med hög grad av identitet till gener kopplade till virulens och antibiotikaresistens. Biofilmproduktionen skiljde sig mellan stammarna (figur 3), och de flesta stammarna växte bättre då de odlades med tillsatts av salt. Att dessa *E. coli*-stammar föredrar att växa i saltvatten och bildar biofilm, kan förklara till hur de kunde överleva i sediment utanför en avloppsutsläppspunkt. En viktig observation var att bara en av 40 stammar visade resistans till X antibiotika i labbstudien, även om alla stammar hade flera gener med hög identitet till gener för antibiotikaresistens. Det visar att man inte kan dra slutsatser om risker kopplade till antibiotikaresistens om man endast har information från DNA-baserad analys.



Figur 3: Biofilmsformation av olika *E. coli* stammar isolerade från sediment. Namn på olika stammar på x-axeln visar riktning (syd, norr o.s.v.) och distans i meter från avloppsvattenutsläppspunkten. Biofilmen färgades in med kristallviolett, och kvantifierades genom absorbans vid våglängden 550 nm. Stammarnas fylogenetiska grupp tillhörigheter indikeras med färg.

Under sommaren 2022 har tre olika instrument för mikrobiella onlinemätningar varit installerade i ett badhus längs Skånekusten: en Bactosense flödescytometer och två Coliminder instrument (för mätning av aktivitet från *E. coli* respektive enterococker). Prover togs var tredje timme över 12 veckor för att undersöka relationen mellan bakteriell sammansättning baserat på fingera tryck från flödescytometern, total bakteriell koncentration i vattnet samt detektionen av indikatorbakterier. Resultaten visade att när den totala cellkoncentrationen var hög, så var det också sannolikt att aktivitet från indikatorbakterier detekterades (figur 4), men att det även fanns tillfällen med låg total cellkoncentration och hög *E. coli*-aktivitet. Det var tydligt att mängden av *E. coli* växlade snabbt inom 3-6 timmar.

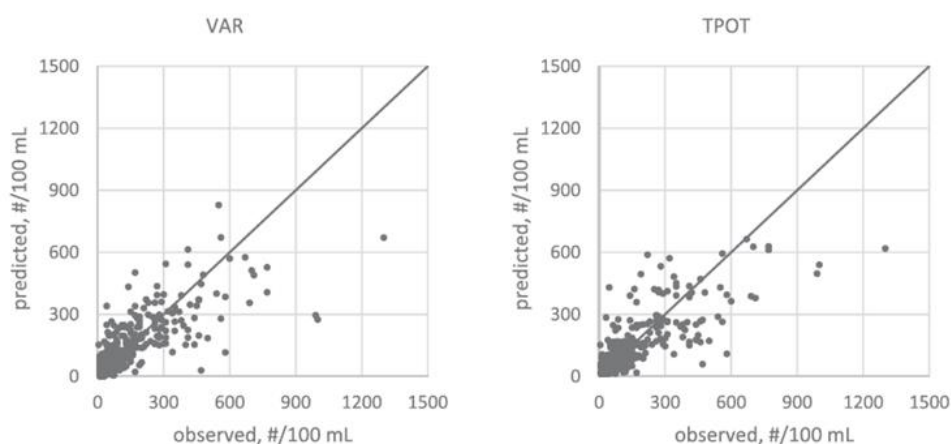


Figur 4: Aktivitet av *E. coli* och koncentration av bakterier i vattnet från en mätpunkt i Öresund. Data samlades in var tredje timme mellan maj och augusti 2022 med en Coliminder (*E. coli* aktivitet) och en Bactosense flödescytometer (total bakteriell koncentration). Aktivitet från *E. coli* (grå), total bakteriell koncentration under detektionsgräns (grön) och total bakteriell koncentration över detektionsgräns (blå).

Vi har börjat identifiera faktorer som påverkar koncentrationerna av *E. coli* och totala bakterier i vattnet. Vattentemperatur tycks inte vara relevant, men en vindriktning från nord eller nordväst verkar vara korrelerat till detektionen av *E. coli* i vattnet. Därutöver vill vi inkludera informationen från Bactosenses flödescytometriska fingeravtryck för att undersöka möjligheten att använda Bactosense för källspårning inom korta tidsfönster.

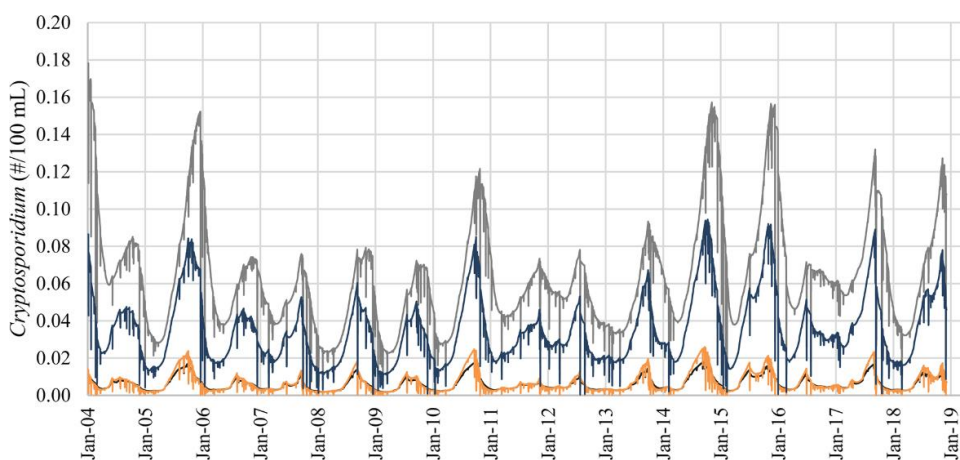
Aktivitet 1.1.4: Transport av föroreningar med processbaserad och databaserad modellering.

I denna aktivitet har arbetet varit fokuserat på datadriven modellering för att försöka förutsäga råvattenkvalitet vid vattenintaget i Göta älv en dag (Sokolova et al. 2022). För att förutsäga *E. coli* utvärderades datadrivna modeller (regressionsmetoder) av olika komplexitet (figur 5 visar exempel på resultat). Modeller med flera prediktorer hade bättre prestanda i att förutsäga *E. coli* i jämförelse med univariata modeller. Modellering visade att temperatur, mikrobiella koncentrationer och nederbörd var bland de viktigaste prediktorerna. Denna typ av modellering hjälper till att tolka vilka koncentrationer som kan förväntas vid råvattenintaget och identifiera oförklarade toppar. Vi testade även ett flertal klassificeringsmetoder för samma ändamål.



Figur 5: Koncentration av *E. coli* – resultat från två datadrivna modeller VAR (Vector Autoregression) och TPOT (Tree-based pipeline optimisation tool).

Med hjälp av processbaserad modellering studerade vi mikrobiologiska risker för ett vattendrag i Sydafrika – floden uMsunduzi som används i vissa hushåll utan någon rening och även för rekreation (Ngubane et al. 2022). Den hydrologiska modellen SWAT användes för att identifiera områden som var förorenade av *Cryptosporidium* (figur 6) och *E. coli*. SWAT-resultat för vattenkvalitet användes för kvantitativ mikrobiell riskbedömning m.h.a. det svenska QMRA-verktyget. Vatten från uMsunduzi är inte lämpligt för att dricka och rekreation enligt QMRA resultat. Dessa resultat kan ge information för beslutsfattande inom avrinningsområdet.



Figur 6: Simulerade *Cryptosporidium*-koncentrationer i delavrinningsområden 1 (blå), 4 (grå), 8 (orange) och 10 (svart) i floden uMsunduzi.

Komponent 1.2 - Vattenskydd (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: Tillämpning av vattensystemtjänster som del av riskbedömning.

Skyddet av våra vattentäkter är komplext, bland annat till följd av att vattenresurserna utnyttjas på olika sätt av oss människor och det finns ofta intressekonflikter. När en vattenresurs utnyttjas för ett specifikt ändamål kan det medföra risker för andra ändamål och åtgärder som syftar till att skydda en vattenresurs kan ha positiva effekter för många som nyttjar en vattenresurs. För att bättre förstå och skapa ett verktyg för att beskriva denna komplexitet utvecklades en lista med så kallade vattensystemtjänster inom projektet WaterPlan (www.waterplanproject.org, finansierat av Formas). Listan bygger på etablerade sätt att beskriva ekosystemtjänster, men är inte begränsad till den klassiska definitionen av ekosystemtjänster. Detta innebär att listan, som är anpassad till svenska förhållanden, beskriver alla tjänster som en vattenresurs kan tillhandahålla samhället. Listan och en tillämpning som visar hur konceptet med vattensystemtjänster kan kombineras med riskbedömningar av vattentäkter presenteras av Gärtner et al. (2022). Resultaten visar bland annat att det nya angreppssättet gör det möjligt att tydliggöra vattentäktens sammantagna betydelse i samhället och hur åtgärder ger positiva effekter på olika tjänster som vattentäkten tillhandahåller.

Under 2022 presenterade Nadine Gärtner sin licentiatavhandling som till stora delar är kopplad till arbetet inom komponent 1.2. Titeln på avhandlingen är *Advancing the Implementation of Protective Measures for Drinking Water Sources in Sweden* (Gärtner, 2022), och beskriver viktiga faktorer som påverkar arbetet med att skydda våra vattentäkter.

Aktivitet 1.2.2: Betalningsviljestudie.

För att möjliggöra välgrundade utvärderingar och prioriteringar av vattenskyddsåtgärder och andra åtgärder krävs information som gör det möjligt att väga nyttan med en åtgärd mot dess kostnader. Idag saknas det dock underlag som gör det möjligt att kvantitativt beskriva nyttan av en minskad risk för kvalitetstörningar eller avbrott i dricksvattenleveransen till svenska hushåll. Med denna typ av information underlättas så kallade kostnads-nyttoanalys (KNA) som kan visa om en åtgärd är samhällsekonomiskt lönsam eller inte. För att ta fram den information som idag saknas i Sverige har en nationell betalningsviljestudie genomförts under 2022. Studien genomfördes som en enkätstudie där svenska hushåll fick svara på frågor om bl.a. hur mycket de skulle vara villiga att betala för att undvika olika störningar i vattenförsörjningen. Följande situationer studerades: (A) inget dricksvatten levereras, (B) dricksvatten levereras men måste kokas för att kunna användas som livsmedel eller för tandborstning, och (C) dricksvatten levereras men får inte användas till vad som helst på grund av vattenbrist. För de tre typerna av störningar studerades även olika tidslängd på störningen för att se hur det påverkar betalningsviljan. Utöver detta ställdes en rad frågor i syfte att kartlägga hur och till vad de som svarade på enkäten använder dricksvatten, deras kunskap om försörjningssystemet, hur säkra de upplever dricksvattenförsörjningen samt deras attityd till att själv vidta olika åtgärder.

Under 2022 samlades svar in från svenska hushåll med hjälp av undersökningsföretaget Norstat. Insamlad data har bearbetats under senare delen av 2022 och arbetet kommer pågå en bit in i 2023. En vetenskaplig artikel baserad på betalningsviljestudien kommer presenteras under 2023.

Komponent 1.3 - Tillräcklig och kostnadseffektiv leveranssäkerhet (komponentledare: Andreas Lindhe och Olof Bergstedt)

Denna komponent fokuserar på kartläggning av kravnivåer och tillämpning av metoder för bedömning av leveranssäkerhet.

Aktivitet 1.3.1: Identifiering av krav och mål gällande rimlig leveranssäkerhet.

Det finns lagkrav och etablerade metoder i va-branschen för hur man ska arbeta med dricksvattenkvalitet. Vad gäller leveranssäkerheten, det vill säga tillförlitligheten i leveransen av vatten till konsument saknas detta dock. Hur ofta är det acceptabelt att en dricksvattenkonsument blir utan vatten i kranen och under hur lång tid? För att lyfta frågan och kunna ge vägledning till branschen har vi samtalat med ett flertal va-huvudmän om hur de arbetar med leveranssäkerhet och huruvida de har några krav eller mål definierade i sina organisationer. För att få en mer heltäckande bild har ett utkast på en enkät utarbetats och denna kommer under 2023 skickas ut till va-huvudmän i Sverige.

Aktivitet 1.3.2: Exemplifiering av leveranssäkerhetsanalys.

Under 2022 har DRICKS arbetat med leveranssäkerhetsfrågor tillsammans med Göteborgsregionens kommunalförbund (GR) och dess 13 kommunerna, bl.a. Göteborgs Stad, Kretslopp och vatten. Under 2022 påbörjades arbetet med såväl en regional vattenbalans för att ge en översikt över dricksvattenbehov och kapacitet (råvatten, beredning, överföring mellan kommuner m.m.) i respektive kommun och regionen som helhet idag och i framtiden. Ett huvudsyfte med vattenbalansen är att se vilka marginaler det finns och vilken syn respektive kommun har på hur överföringen av vatten mellan kommunerna ska se ut i framtiden. För att fördjupa arbetet har även en leveranssäkerhetsanalys påbörjats för ett flertal av kommunerna. Tidigare har Chalmers och Kretslopp och vatten genomfört en detaljerad leveranssäkerhetsanalys av Göteborgs dricksvattensystem. Syftet med samverkan med GR-kommunerna är bl.a. att visa hur leveranssäkerhetsanalyser kan genomföras på en mindre detaljerad nivå men ändå ge användbara resultat. Vidare är syftet att visa hur diskussionerna om leveranssäkerhet underlättas om det finns ett gemensamt sätt att beskriva statusen i respektive kommun och inte minst hur nyttan av åtgärder kan kvantifieras. Detta underlättar också i resonemangen om i vilka situationer man ska kunna köpa och sälja vatten mellan kommuner och hur flera kommuner kan få nytta av en åtgärd. Arbetet kommer att pågå under större delen av 2023.

3.2 Framtidens vattenverk (AP2)

Arbetet som bedrivits inom AP2 under 2022 beskrivs nedan för de ingående komponenterna. Detta AP handlar om vad behövs till framtidens vattenverk för att leverera ett hälsosamt och kvalitetssäkrat dricksvatten genom att utveckla hållbar, flexibel och behovsstyrd processdesign med hänsyn till påverkan av klimatförändringar. Vattenåteranvändning inkluderas med relevans till processdesign samt hur vattenkvaliteten och säkerheten påverkas när olika typer av vatten behövs. Samordnande för AP2 är Catherine Paul.

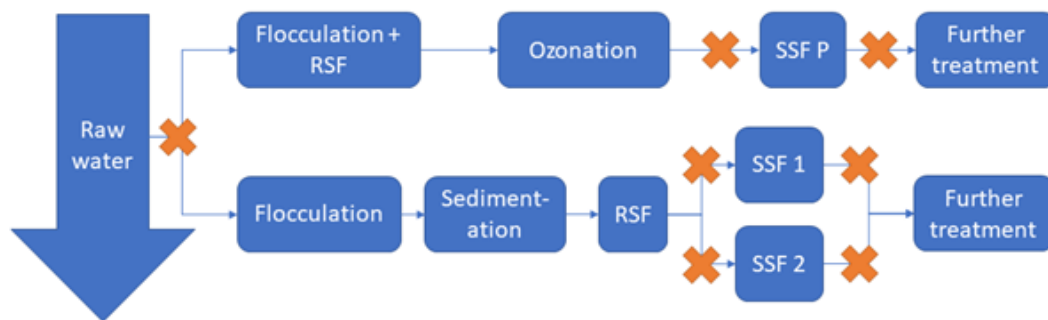
Komponent 2.1 – Vad är tillräckligt rent? (komponentledare: Catherine Paul och Kathleen Murphy)

När man kan räkna celler och molekyler, vad betyder egentligen rent? Denna komponent syftar till att karaktärisera olika typer av beredningsprocesser, inklusive biofilter, med målet att förstå hur beredningsprocesser förändras eller påverkar vattnet utifrån ett cell- och molekylperspektiv. Förändras de processerna vid klimatförändringar och hur förändras de? Hur kan specifika fenomen uppströms, som t.ex. brunifiering eller användning av ozon, påverka barriärverkan (avsnitt 2.2.4)?

Och vad händer med helt olika råvatten och frammanade processkedjor (ur ett dricksvattenperspektiv) inom olika vattenåtervinningsstrategier med alla celler och molekyler? 2022 satsade vi på följande aktiviteter:

Aktivitet 2.1.1: DNA-sekvensering och bioinformatikanalys av biofilmprover från ett pilotskalelångsamfiltersystem med ozonberedning på ingående vatten.

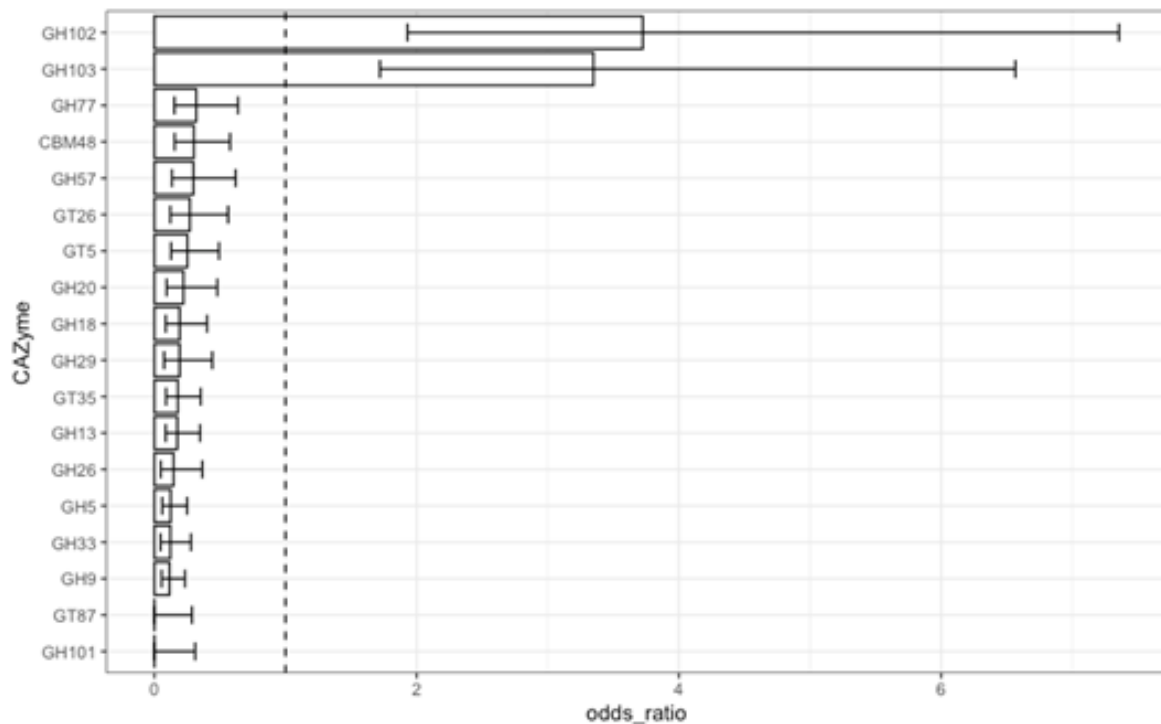
Genom provtagning och metagenomisk sekvensering av två fullskaliga och ett pilotskaligt långsamfilter har de mikrobiella samhällena i biofilter i ingående och utgående vatten under olika processbetingelser studerats. Långsamfiltren drevs av Trollhättan Energi AB och rena vatten från Göta älv. Skillnader fanns i de behandlingssteg vattnet genomgår innan det når långsamfiltren (figur 7). I synnerhet väntas ozoneringen av det ingående vattnet till det pilotskaliga filtret ha påverkat dess biofilmsflora. Ozoneringen var avsedd att förbättra reningen av dricksvattnet med avseende på mikroförureningar. Proverna togs i mars 2021 och sekvenserades av National Genomics Infrastructure (SciLifeLab, Solna) i oktober 2021. Sekvensdatan analyserades på datorklustret UPPMAX genom SNIC projekten 2021/22-660 och 2021/23-596.



Figur 7: Övergripande processschema. Överst är pilotprocessen. Nederst är den fullskaliga vattenberedningsprocessen. Kryss indikerar tagna vattenprover. Sex sandprover har tagits från ytan av varje långsamfilter (SSF P, SSF 1 och SSF 2).

Under 2022 genererades och analyserades "metagenome assembled genomes" (MAGs) från sekvenseringsdatan. En MAG representerar ett genom från en mikroorganism, och tillåter oss att koppla taxonomiska skillnader i långsamfilter till närvaro av specifika gener. 253 MAGs genererades, varav 2 var från arkéer och resten från bakterier. Dessa MAGs representerade runt 17,6% av de totala mikrobiella samhällena i långsamfiltren.

De MAGs som var mer förekommande i det ozonerade filtret hade i högre grad gener som tillät metabolisk användning av organiska föreningar med 1-2 kolatomer, medan de som var mer förekommande i de icke-ozonerade filtren i högre grad hade gener som tillät nedbrytning av diverse komplexa kolhydrater (figur 8). Familjerna Sphingomonadaceae, Hyphomicrobiaceae och Burkholderiaceae (alla Proteobakterier) utgjorde majoriteten av de mikroorganismer som kunde assimilera 1/2-kolsföreningar. De mikroorganismer som hade flest gener för nedbrytning av komplexa kolhydrater tillhörde följande fyla: Bacteroidota, Chloroflexota, Acidobacteriota, Myxococcota och Verrucomicrobiota.



Figur 8: Oddskvoter för signifikant (Fisher's exakta test, justerat $p < 0.05$) anrikade familjer av kolhydrataktiva enzym (CAZymer). Värden > 1 indikerar att genfamiljen är anrikad i MAGs associerade med det ozonerade filtret och vice versa.

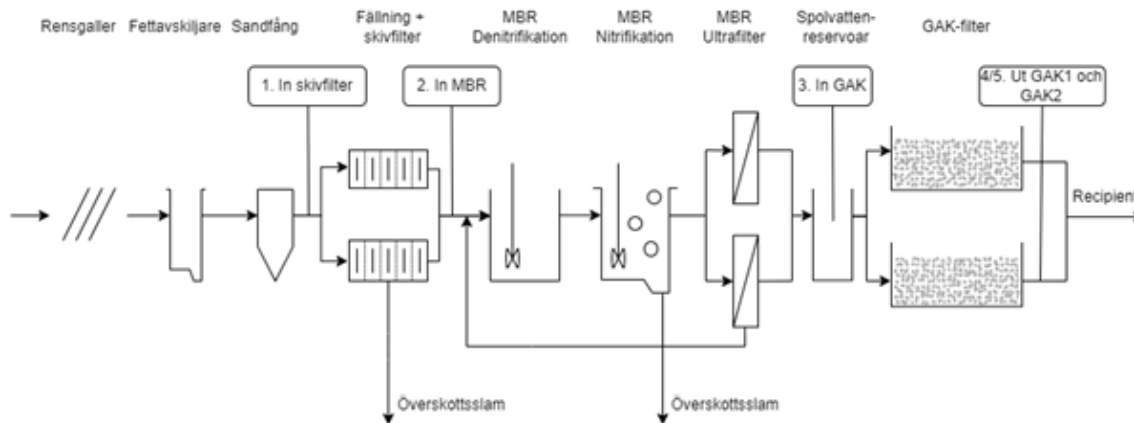
Resultaten tyder på att de mikrobiella samhällena i det ozonerade långsamfiltret till högre grad är anpassade för att tillgodogöra sig organiskt material av lägre molekylvikt. Eftersom ozon sönderdelar organiskt material genom oxidation, främjar detta mikroorganismer med möjligheten att integrera med de resulterande molekylerna i form av biomassa. Biprodukterna av ozonering inkluderar demonstrerat hälsofarliga kemikalier som glyoxal och formaldehyd. Då assimilering i biomassa oskadliggör dessa, tillhandahåller de ansvariga mikroorganismerna en ekosystemtjänst i ozonerade långsamfilter.

Aktivitet 2.1.2: Samla prover och information från långsamfilter i Götaland och Svealand för en mer detaljerad DNA-sekvenseringsanalys 2023.

Prover från 6 olika vattenverk i Sverige har samlats in av Göteborgs universitet/Sahlgrenska universitetssjukhuset. DNA och RNA har extraherats och analyser av DNA/RNA-sekvenser från virus har påbörjats. Tre av sex vattenverk i studien använder långsamfilter, så tanken är att inkludera andra typer av biofilter i analysen, som t.ex. GAK.s

Aktivitet 2.1.3: Analysera flödescytometriska fingeravtryck och mikrobiologiska aktiviteter i GAK-biofilm med syfte att ta bort mikroföreningar från avloppsvatten i kontext av vattenåteranvändning.

Total cellkoncentration (TCK) och intakt cellkoncentration (ICK) analyserades en gång i månaden under perioden december 2020 – februari 2022 från olika provtagningsställen i en vattenåteranvändningsprocess (figur 9).



Figur 9: Processchema över Kiviks avloppsreningsverk. Provtagningspunkter är markerade med 1-5: ingående vatten till skivfilter, ingående vatten till MBR, ingående vatten till GAK och 2 prover av utgående vatten från två parallella GAK: Ut GAK1 och Ut GAK2.

TCK ökade efter GAK-filtren, och var inte noll efter MBR trots ultrafiltreringssteget. Resultaten visade på en tillväxt av bakterier i vattnet genom GAK-filtren, som speglade säsongsvariationer i TCK hos det inkommande vattnet. Även om TCK i det inkommande och utgående vattnet ökade under sommarmånaderna, följde koncentrationerna av *E. coli* och koliforma bakterier inte samma mönster (Komponent 2.4: Aktivitet 2.4.3). Ökningen i TCK efter GAK-filtren indikerar att bakterier växte i GAK-filtren och därefter släpptes till det utgående vattnet, men att detta inte medförde en ökning av *E. coli* eller koliformer. Därmed hade GAK en selektiv mikrobiell barriärfunktion mot dessa indikatorbakterier. Intakta celler utgjorde i genomsnitt 79% av de totala cellerna.

Denna studie påbörjades med helt nya GAK-filtrer. Längre tidsserier behövs för att veta hur ett äldre GAK-filtrer med en etablerad biofilm påverkar vattenkvaliteten på lång sikt. Mängden DNA som extraherades från granulerna minskade i november och december 2021, ungefär till nivåer från föregående vår, vilket också indikerar en lägre mikrobiell aktivitet under vintern.

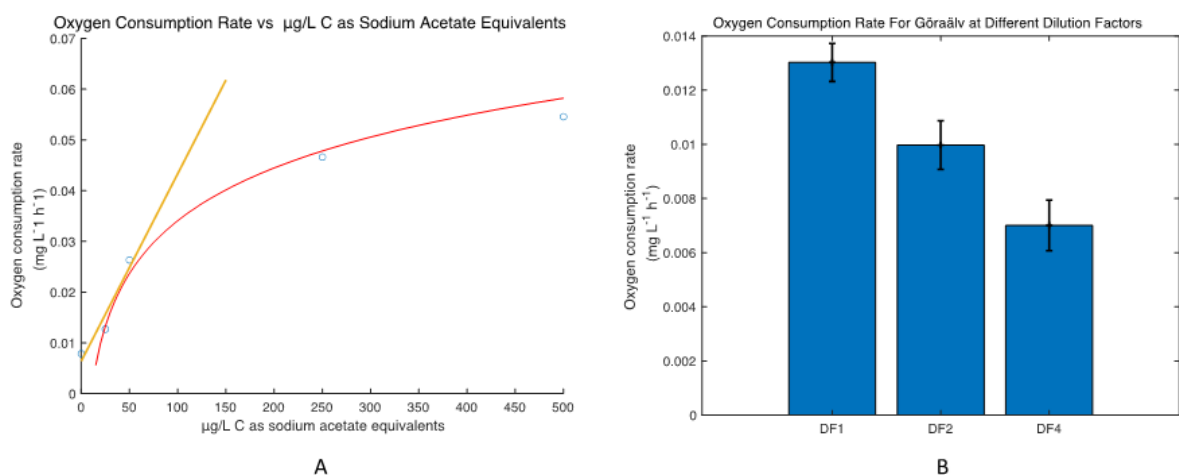
Till sist visade resultaten att vattnet inte var sterilt efter GAK, då cellkoncentrationer mellan 80-100 000 bakterier per mL uppmättes. Högre total cellkoncentration i utgående vatten från GAK innebar däremot inte högre koncentrationer av *E. coli* eller koliformer. En hög cellkoncentration i utgående vatten, vilket särskilt observerades under sommaren, kan dock påverka desinfektionssteget. Eftersom patogener väntas utgöra en liten del av den stora mängden celler, kan ökad UV- eller klordos vara nödvändig under vissa säsonger.

Aktivitet 2.1.4: Utveckla en ny sensorbaserad metod för att mäta mikrobiell återväxtpotential med hjälp av syreförbrukningsprofiler, och jämföra med mätningar av assimilerbart organiskt kol (AOC). Under 2022 har syreförbrukningsprofiler av inokulerade vattenprover utvärderats som en alternativ metod för att indikera mikrobiell återväxtpotential. Delsteg som undersöktes för metodutvecklingen är sammanställda i tabell 1.

Tabell 1: Översikt över olika delsteg som utforskas för syresensor som en alternativ metod för den mikrobiella tillväxtpotentialen under 2022.

Delsteg	Beskrivning
Natriumacetat kalibreringskurvor	Undersöker korrelation mellan mängden lättillgänglig kol och syrekonsumtionen samt syrekonsumtionshastigheten. En bra korrelation kunde observeras men vid höga koncentrationer av natriumacetat slutar linjäriteten och sambandet verkar logaritmiskt.
Effekten av tillsatsen av fosfor och kväve	Här undersöktes effekten av fosfor och kväve för att få ett sant värde av AOC för vatten om kol inte är begränsande. Med tillsatsen av näring P, N utökades det linjära spannet. Då dricksvatten ligger inom det linjära spannet tillsattes ingen extra näring.
Provberedning	Pastörisering bidrog till att algoritmen enklare kunde detektera regionen av intresse samt att det gav bättre överensstämmelse mellan replikaten.
Jämförelse med AOC	Validering med AOC metoder baserade på P17 och NOX avbröts då resultaten mellan laboratorer skiljde sig avsevärt. Focus för validering av metoden har nu lagts på komponenten av FDOM som representerar det biologiskt labila kolet.

Från kalibreringskurvorna påvisas ett samband mellan den syrekonsumtionen/ syrekonsumtionshastighet och koncentrationen av lättillgängligt kol (figur 10 a). Vid höga kolkoncentrationer i form av natriumacetat avtar syrekonsumtionen och konsumtionshastigheten, vilket tyder på att tillväxten blir begränsad vid avsaknaden av övrig näring. Resultaten för dricksvatten brukar ligga inom det linjära området och för att inte påverka kompositionen av vatten och för att få en verklig bild av tillväxtpotentialen av det tagna vattenprovet tillsattes inget kväve eller fosfor till provet. Utöver dessa kalibreringskurvor testades sambandet mellan syrekonsumtionen och mängden organiskt material i form av en spädningsserie från Göta älv (figur 10 b).



Figur 10: **A)** Vänster kalibreringskurva från 0-500 µg C/L i natrium acetat ekvivalenter, här syns en logaritmisk trend och regressionen påvisar den linjära regionen. **B)** vatten med en mer komplex sammansättning av organiskt material visar en bra korrelation mellan syreförbrukningshastigheten och spädningsserien.

I provberedningssteget testades olika tillväggångssätt för att optimera resultaten. Det framkom att pastörisering av prov förbättrade prestandan av metoden och överenskommelsen mellan replikaten. Som inokulant används en råvattenkälla (Götaälv) som inkuberats vid 35°C i 1-2 veckor (2 veckor är den uppdaterade metoden) med varierande resultat. Under slutet på året har även arbete skett med att hitta en källa för inokulanten som inte varierar så mycket i mikrobiell aktivitet genom årstiderna.

Jämförelse med AOC mätningar var inplanerade genom att mäta duplikat av prov som skickades till kommersiella laboratorier för AOC analys. Från två olika laboratorier erhöles resultat på analysen med värden som skiljde sig avsevärt. Validering av metoden görs nu med FDOM mätningar och trenderna jämförs med resultat av FDOM komponenten som påvisar det biologiska labila kolet (Moona et. al. 2021). Då målet med metoden är att identifiera tillväxtpotentialen av vattnet ansågs detta som en lämplig metod för validering vid detta stadie.

Aktivitet 2.1.5: Bedöma sensor-resultat för mikrobiell återväxtpotential från olika behandlingssteg, vattenverk, och från olika distributionszoner i ett ledningsnät.

Första halvan av 2022 spenderades med att försöka förstå syresensormetoden och att genomföra metodutveckling samt identifiera begränsningar. Under andra halvan av året inkluderades prover från vattenverk. Med syresensorer har syreförbrukningsprofilen mätts för att se hur den förändras genom vattenverket samt vid olika steg av dricksvattenverket och på så vis ge en indikation på hur den mikrobiella tillväxtpotentialen förändras genom processen.

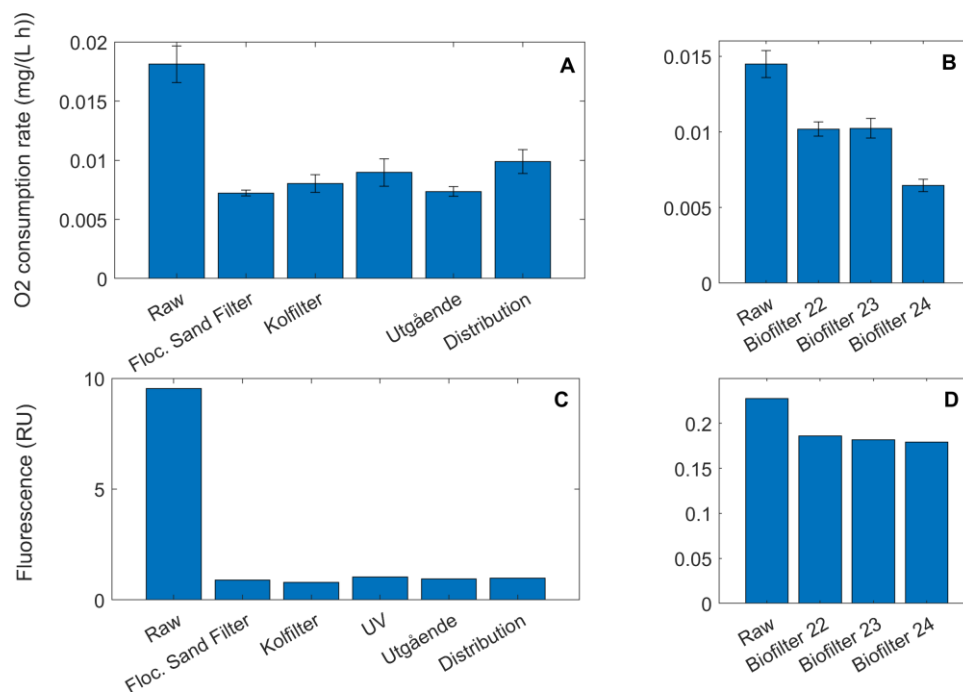
Resultat från mätningar under den senare delen av året visade sig vara problematiska, vid detta stadie tros detta bero på att inokulanten hade för låg aktivitet under de kallare månaderna i samband med att halten av organiskt material generellt brukar vara lägre under denna period. Detta resulterade i en för låg signal vid det intressanta området av syreförbrukningsprofilen.

En sammanställning av 2022 års mätningar på vattenverk samt vilka behandlingssteg som inkluderas ges i tabell 2.

Tabell 2: Översikt över vilka vattenverk, månad samt behandlingssteg som har undersökts.

Vattenverk	Månad	Behandlingssteg
Kungälv	Juni, september, oktober, november	Råvatten, Biofilter, Ultrafilter, Kolfilter, Utgående
Nodra	September	Råvatten, Sandfilter och flockulering, Kolfilter, UV, Utgåenfe
Göteborg kretslopp och vatten	Oktober, december	Råvatten, sedimentering, kolfilter och utgående

I figur 11 visas resultat från två vattenverk samt provernas respektive FDOM för den biologiskt labila komponenten. Utifrån resultaten syns, för båda vattenverken samt båda analysmetoderna, en tydlig avskiljning mellan råvatten och det behandlade vattnet.



Figur 11: Syrekonsumtionshastigheten samt signaler av det biologiskt labila kolet för olika provpunkter i dricksvattenverket i Nodra (A, C) respektive Kungälv (B, D).

För 2023 är ytterligare mätningar på olika vattenverk planerade för att fortsätta att validera och utvärdera applikationen av metoden. Arbetet med att identifiera, undersöka och försöka hitta lösningar på några av metodens begränsningar i dagsläget har fortgått.

Komponent 2.2 - Slamhantering (komponentledare: Lena Blom)

Aktivitet 2.2.1: Omvärldsbevakning och behovsanalys.

Att utreda hållbar hantering av vattenverksslam vilket kan ge vägledning i beslutsfattning. En viktig del i detta är att utvärdera hur inblandning av vattenverksslam påverkar driften av reningsverk. Genom att sammanställa och tillgängliggöra resultaten av driftförsök vid två olika reningsverk samt jämföra med tidigare erfarenhet från Käppalaförbundet och Gryaab bidrar projektet till förbättrat beslutsunderlag för va-huvudmän som står i vägvalet mellan lokal hantering och avledning till reningsverk för sitt vattenverksslam. Centralt i projektet är att ta hänsyn till både ekonomiska och miljömässiga perspektiv liksom va-organisationers och brukares intressen. En ytterligare fråga av intresse för va-organisationer är hantering av rejektivatten vid lokal avvattning på vattenverk. I projektet tillgängliggörs därför den utredning som Norrvatten genomför i frågan.

Sammanfattningsvis ska följande ingå i projektet:

- Utvärdering av driftförsök vid reningsverk som utförs av Nodra i Norrköping samt Mälarenergi i Västerås och jämföra med tidigare erfarenhet i projektgruppen. Parametrar som undersöks är dosering av fällningskemikalie, utgående halter av näringsämnen, metallhalter i slam, torrsubstans [%] i avvattnat slam etc. samt de kostnader som detta medför.
- Påverkan av vattenverksslam på avloppsreningsverk – Sammanställning av tidigare och pågående studier av hantering av vattenverksslam samt drifterfarenheter.

Komponent 2.3 - Koppling till ledningsnät (komponentledare: Peter Rådström och Kathleen Murphy)

Aktivitet 2.3.1: Metagenomisk och flödescytometrisk analys av den mikrobiella vattenfloran i två byggnader belägna på olika avstånd från vattenverket.

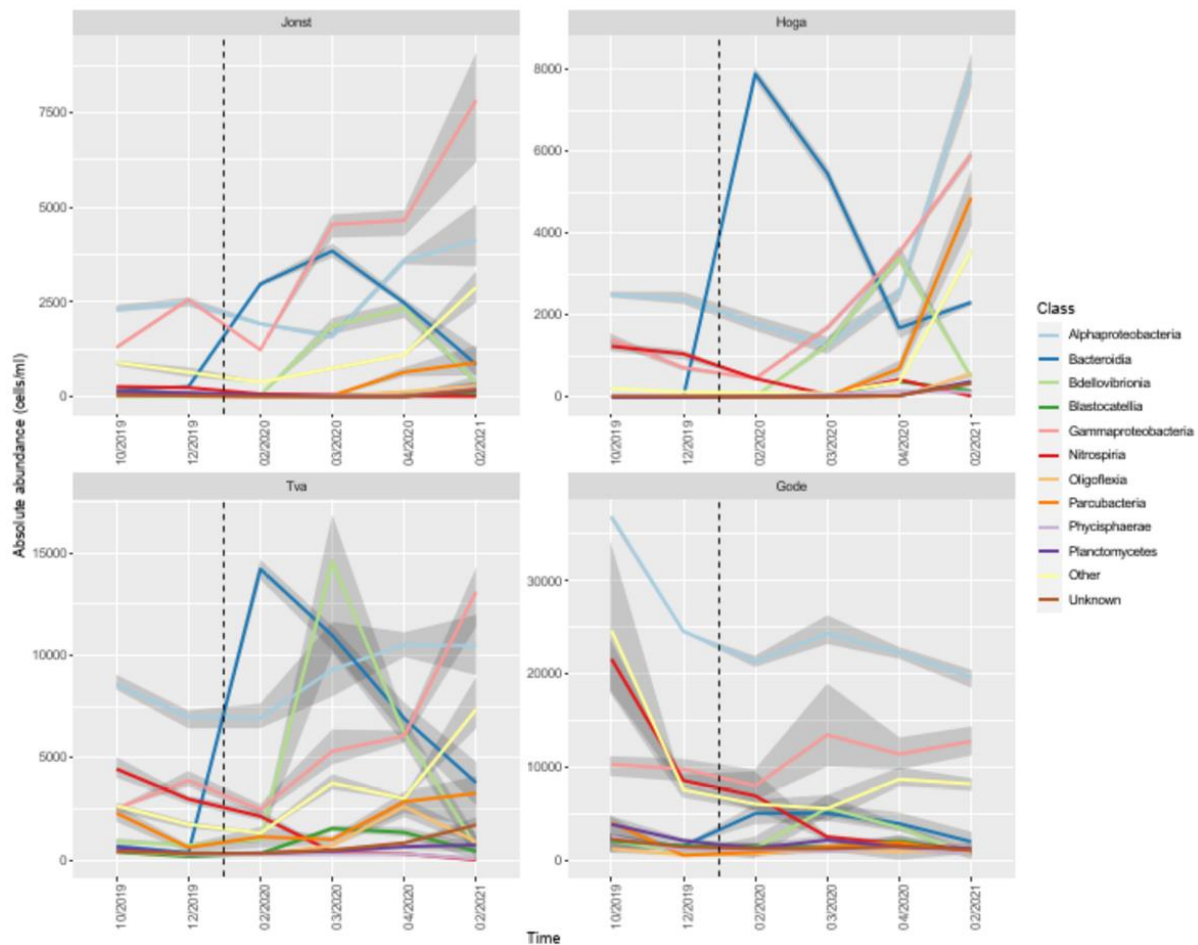
Den här aktiviteten är försenad p.g.a personalbyte hos FOI (Umeå). Förhoppningsvis kommer projekt i gång igen under 2023.

Aktivitet 2.3.2: Beskriva molekylärt och cellulärt den mikrobiella vattenkvalitén i ett distributionsnät efter borttagandet av monokloramin med syfte att förstå hur den sekundära desinfektionen påverkar den mikrobiella ekologin i distributionssystemet.

I Varberg analyserades biofilmens anpassning till ett monokloraminfritt dricksvatten. Eftersom det ultrafiltrerade permeatvattnet i Kvarnagårdens vattenverk är praktiskt taget cellfritt, härstammar dricksvattnets mikroorganismer framför allt från biofilmen i reservoarer och ledningsrör. Tack vare historiska FCM-data kunde man följa biofilmens utveckling i sexton distributionspunkter efter utfasningen av monokloramin. Kompletterande dna-analys visade den gradvisa anpassningen av biofilmen till ett mer artrikt ekosystem i ledningsnätet. Heterotrofa bakterier och nitritbildande bakterier minskade i mängd, medan tidigare klorundertryckta mindre bakterier ökade i mängd (figur 12). Klassen Nitrospira kännetecknas av en successiv minskning av bakterierna i dricksvattnet. Den successiva utfasningen av Nitrospira i vattenfasen var påtaglig och cirka två månader efter kloraminutfasningen stabiliserades cellantalet på de nya nivåerna.

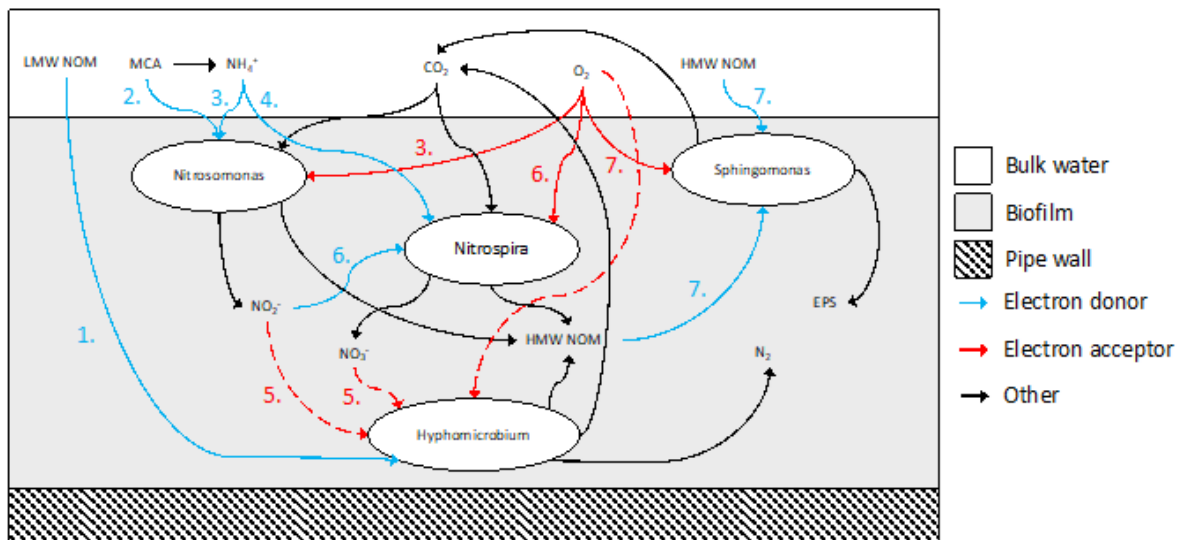
Den andra responsgruppen som bestod av klasserna Bacteroidia och Bdellovibrionia, ökade till de högsta nivåerna 1-3 månader efter kloraminutfasningen för att därefter återgå till relativt låga nivåer. Klassen Bacteroidia som kulminerade i februari-mars visade sig bestå av bakterier tillhörande Sphingobacteriales, Flavobacteriales och Chitinophagales. Merparten av Flavobacteriales tillhörde släkten Flavobacterium som är en känd HPC-bakterie som bildar gul-röda kolonier (Bartram et al. 2003). Bdellovibrionia som nådde kulmen i mars-april bestod framför allt av bakteriesläktet Bdellovibrio, en bakterie vars tillväxt är beroende av att parasitera på andra gram-negativa bakterier (Pasternak et al. 2014).

Den tredje responsgruppen tillhörande klassen Gammaproteobacteria där exempelvis bakteriesläktena Ellin6067 och Methylothera ökade i cellantal efter provtagningarna i mars och april. Även klasserna Alphaproteobacteria och Parcubacteria ökade successivt i cellantal i de tidigare monokloraminexponerade provtagningspunkterna.



Figur 12: Den taxonomiska förändringen på klassnivå över tid i Jonst, Hoega, Tvaak och Godst. Y-axeln visar "absolute abundance" i celler per ml enligt Props et al. (2017). X-axeln visar de sex provtagningstidpunkterna (månad/år). Klasser som inte uppfyller kriterierna om att ha minst 1000 celler per ml i minst 10 prover har kombinerats som "other". Med "unknown" avses bakterier som inte kan identifieras på klassnivå. De färgade linjernas grå zoner visar det 95 % konfidensintervallet för triplikaten. Den streckade vertikala linjen i figurerna visar tidpunkten för utfasningen av monokloramin den 20 januari 2020.

Sammanfattningsvis så fann vi att populationen bakterier som konsumerar organiskt kol för att få energi, s.k. heterotrofer, förändrades vid borttagandet av monokloramin. Kända och okända dricksvattenbakterier såsom *Flavobacterium*, *Hyphomicrobium*, *Mycobacterium*, *Pedomicrobium*, *Polaromonas*, *Pseudomonas* och *Sphingomonas* minskade i förekomst och floran utökades med en annan grupp heterotrofer som inte kan påvisas med traditionell odlingsmetodik, till exempel BALOs, *Methylotenera* och *Parcubacteria* samt de dåligt beskrivna bakteriegrupperna *Ellin6067*, *Rhizobiales Incertae Sedis* och *Tra3-20*. En hypotes är att eftersom monokloramin bidrar med ammonium att mätta nitrifikation bakterier, det kan vara att det är de som är uppäten av heterotrofer (figur 13).



Figur 13: En modell av en MCA-baserad matkedja. Streckade linjer representerar den potentiella möjligheten för *Hyphomicrobium* att använda flera olika elektronacceptorer. Siffrorna i figuren hänvisar till studier där förmågan att använda en given elektron donator/acceptor har visats experimentellt för det angivna släktet och är tillgängligt via kontakt med Catherine Paul.

Det är inte biologiskt möjligt och inte heller önskvärt att distribuera ett biostabilt dricksvatten som inte stödjer mikrobiell tillväxt. Målet bör i stället vara ett resiliert mikrobiellt ekosystem som kan hantera distributionens utmaningar utan att dricksvattenkvaliteten och säkerheten försämras.

Komponent 2.4 - Barriärverkan (komponentledare: Mia Bondelind och Lutz Ahrens)

Den här komponenten belyser beredningsprocessers (biofiltrar, membranfilter, UV och klordesinfektion) förmåga att reducera oönskade kemikalier och mikroorganismer inklusive virus. DNA-baserade riskmarkörer och kemisk och toxikologisk analys ska stödja utvecklingen av verktyg för övervakning och tidiga varningssystem.

Aktivitet 2.4.1: Utveckla en effekt-inriktad analys (EDA) för att identifiera toxiska ämnen i råvatten, beredningssteg och dricksvatten.

Fokus under 2022 har varit att sätta upp EDA metoden vilket inkluderar vätskekromatografi (LC) kopplat till ett fraktioneringssystem (Fractiomate) och högupplösande masspektrometri (HRMS, Orbitrap, Thermo) samt biotester med olika end-points. Validering av systemet kommer att utföras under 2023.

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

Malin Ullberg disputerade på SLU i maj 2022. Hennes avhandling "Exploring the role of granular activated carbon in drinking water production" sammanställde resultaten från flera pilotförsök på Norrvattens Görvälnverket. Det som återstår är att under 2023 färdigställa en vetenskaplig artikel om hur NOM kvalitet och kvantitet i dricksvatten påverkas av ozon- och aktivt kol- (GAK) behandling.

Aktivitet 2.4.3: Reduktionsmätningar av *E. coli* och koliformer, och några mikroföreningar i en processkedja som renar avloppsvatten för eventuell återanvändning.

Koncentrationerna av *E. coli* och andra koliforma bakterier analyserades en gång i månaden under perioden december 2020 – februari 2022 från olika provtagningsställen i en vattenåteranvändningsprocess. Koncentrationen av *E. coli* var under gränsvärdet för bevattningskvalitetsklass B (<100 cfu/100 ml) vid varje provtagningsstillfälle. Gränsvärdet för kvalitetsklass A (<10 cfu/100 ml) överskreds vid 6 av 15 provtagningsstillfällen för GAK1, och vid 4 av 15 provtagningsstillfällen för GAK2. Utgående vatten från GAK överskred gränsvärdet för tjänligt dricksvatten (*E. coli* påvisat i 100 ml).

Koncentrationen av koliforma bakterier var i genomsnitt 75 cfu/100 ml och 39 cfu/100 ml i utgående vatten från GAK1 respektive GAK2. Koncentrationen för tjänligt dricksvatten med anmärkning (koliforma bakterier påvisade i 100 ml) överskreds och gränsen för otjänligt dricksvatten (10 cfu/100 ml) överskreds i 10 fall av 15.

Även om den totala cellkoncentration ökade under GAK-filtreringen ökade inte koncentrationerna av koliforma bakterier och *E. coli*. GAK-filtren skapade en ny bakteriepopulation som återfanns i det utgående vattnet, och filtren fungerar till viss del som en selektiv barriär mot koliforma bakterier och *E. coli*, särskilt när koncentrationerna är höga. Det är viktigt att utforska vilket eller vilka beredningssteg som behövs för att vattnet ska nå dricksvattenkvalitet.

Mikroföroreningskoncentrationer analyserades från olika provtagningspunkter inom processkedjan och i utgående vatten. Koncentrationerna i utgående vatten från GAK-filtren var generellt låga och varierade beroende på substans och säsong. GAK-filtren fungerade bra och organiska mikroföroreningar minskade till en generellt låg nivå. Reningsgraden minskade under året för olika mikroföroreningar, vilket är normalt för ett kolfilter. Reningsgraden påverkades också av att reningsverket i Kivik har stora variationerna i det inkommande flödet, vilket leder till en varierande uppehållstid i filtren.

Det utgående vattnet från processen bestående av MBR och GAK kom därmed nära dricksvattenvattenkvalitet, och GAK kan fungera som en mikrobiell och kemisk barriär. Det bör noteras att alla mikrobiella och kemiska parametrar som ingår i livsmedelsverkets författningssamling inte var med i analysen, samt att de analyserade mikrobiella parametrarna tyder på att ett eller fler beredningssteg behövs efter GAK för att kvalitetssäkra leveransen av dricksvatten. Vattnet var av en kvalitet som kunde användas för att ersätta dricksvatten i vissa bevattningskontexter, och på så vis öka tillgängligheten av dricksvatten i området.

Aktivitet 2.4.4: Undersöka påverkan av UV-behandling på virus (adenovirus, enterovirus och rotavirus) reduktion och virus ineffektivitet.

Göteborgs universitet och Sahlgrenska universitetssjukhuset har med stöd från Göteborgs kretslopp och vatten, Lunds universitet, Livsmedelsverket och Chalmers analyserat effektiviteten av de vanligast förekommande UV-doseringarna i Sveriges vattenverk mot DNA virus. Adenovirus typ 2 (dubbelsträngat DNA), simian rotavirus 11 (dubbelsträngat RNA) och echovirus 30 (enkelsträngat RNA) utsattes för UV-doser motsvarande 400, 600, and 1000 J/m². Efter behandlingen odlades virusen i levande celler för att utöver minskning av DNA även kunna fastställa hur UV påverkade virusens infektionsförmåga. Kranvatten med höga koncentrationer av de 3 olika virustyperna

pumpades genom en labbskalig Aquada 1 UV-reaktor. Echovirus 30 minskade med 3.6 log₁₀-enheter vid en UV dos av 400 J/m². Simian rotavirus 11 och adenovirus typ 2 var mer resistent mot UV-bestrålning då de bara uppvisade 1 log₁₀-reduktion vid 400 J/m², och 600 J/m² behövdes för att uppnå reduktioner på 2.9 log₁₀-enheter respektive 3.1 log₁₀-enheter. Högre UV-dosering än detta hade ingen effekt och det är möjligt att virusen var UV-resistent. Resultaten indikerar att den UV-dos som idag används av de flesta Svenska vattenverk inte är tillräcklig som åtgärd efter en fekal kontaminering, och det säkraste är att kombinera UV-desinfektion med flera typer av desinfektion om man misstänker en kontaminering.

Aktivitet 2.4.5: Metagenomiska haltbestämningar av adenovirus, enterovirus och rotavirus och andra virus ska jämföras mellan ingående och utgående vatten från olika vattenverk.

Den här aktiviteten har varit försenad p.g.a. pandemin då virusforskare vid Göteborgs Universitet och Sahlgrenska universitetssjukhuset har varit upptagna med Covid frågor. Under 2022 har prover samlats in från sex vattenproducenter och DNA har extraherats och sekvenserats. Under 2023 jobbar vi vidare med att tolka meningarna bakom sekvenserna.

Aktivitet 2.4.6: Utforska om monokloramin påverkar närvaron av opportunistiska patogener i dricksvatten.

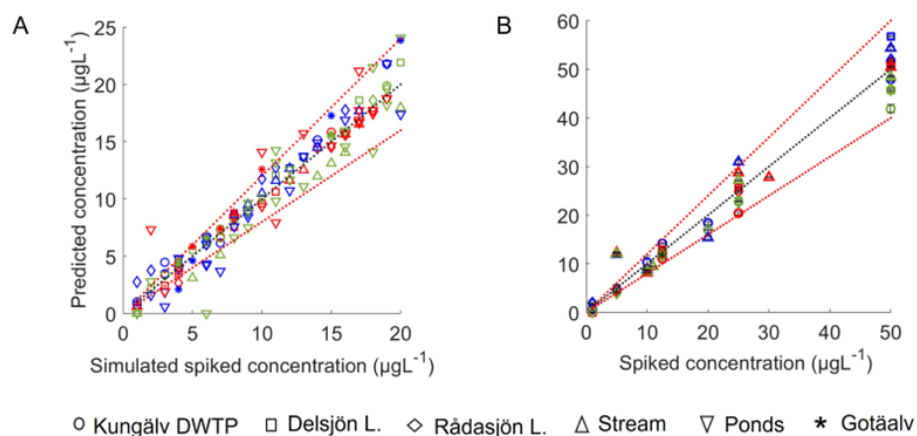
Tillsammans med VIVAB i Varberg har forskare från Lunds universitet analyserat anpassningen av ett distributionssystem biofilm till ett monokloraminfritt dricksvatten. Då vi tidigare påvisat DNA-sekvenser av Mycobacterium och Legionella i Varbergs distributionssystem (Pullerits et al. 2020b), samt att man konstaterat en globalt ökande incidens av infektioner med icke tuberkulösa mykobakterier (NTM) var det angeläget att följa utvecklingen av opportunistiska patogener efter utfasningen. Det är viktigt att påpeka att eftersom DNA-sekvensering påvisar närvaro av såväl levande som icke-levande mikroorganismer, så var metoderna som användes i denna studie inte designade för att upptäcka mikrobiella patogener som utgjorde direkt risk till konsument.

Ingen indikation av tillväxt av Mycobacterium eller Legionella efter utfasningen observerades. Sekvenser tillhörande dessa släkter var, såväl innan som efter utfasningen, väldigt få. Högupplöst DNA-sekvensering detekterade 16S gener från specifika arter inom dessa släkter, men då metoden baserades på nyligen framtagen Nanopore-teknik bör det noteras att databaser som används kan ge lite olika information beroende på sökstrategi. Mycobacterium angelicum, M. aquiterrae, M. barrassiae, M. ELW1, M. paragordoniae, M. PYR15 och M. YC-RL4 identifierades som närvarande arter i släktet Mycobacterium. Artidentifieringen visade förekomst av ett 20-tal arter av Legionella (L. adalaidensis, L. cherrii, L. clemsonensis, L. dresdenensis, L. fallonii, L. geestiana, L. hackeliae, L. israelensis, L. jordanis, L. longbeachae, L. lytica, L. oakridgensis, L. pneumophila, L. sainthelensi, L. saudiensis, L. spiritensis, L. taurinensis, L. tunisiensis och L. waltersii) varav några är potentiella opportunistiska patogener.

Aktivitet 2.4.7: Utveckla nya metoder för att kvantifiera fluorescerande läkemedel i dricksvatten och avloppsvatten.

Postdoktoranden Lesly Paradina Fernandez har fastställt detektionsgränser för att kvantifiera fluorescerande mikroföreningar i dricksvatten samt avloppsvatten med hjälp av fluorescensspektroskopi. Fördelarna med fluorescensspektroskopi är att det är en billig och snabb

metod, men även mindre specifik och känslig för att kvantifiera svagt fluorescerande mikroföreningar jämfört med traditionell LS-MS/MS. Detektionsgränserna var identifierade för tre läkemedel som vanligtvis förekommer i avloppsvatten: ciprofloxacin, naproxen och zolpidem (figur 14). I en sjö, en damm, en älv och i dricksvattenprov, var dessa inom intervallet av 1.5-3.3 µg/L vilket överskrider deras förväntade koncentrationer i behandlat avloppsvatten, dricksvatten och prov från naturligt förekommande vattensamlingar (åtminstone är fallet så i Sverige). Trots det kan metoden vara användbar för lab-skaliga studier gällande effektiviteten eller kinetiken av vattenreningen, där startkoncentrationerna ofta ligger mellan 50-200 µg/L.



Figur 14: Korrespondens mellan spikade koncentrationer av ciprofloxacin (blå), naproxen (röd), och zolpidem (grön) samt de förutspådda koncentrationerna av samma i (A) simulerade prov; och (B) verkliga prov. A "delvis-specificerad" tillvägagångssätt för modelleringen användes för sjö-, älv- och dricksvattenproven, och en "fullt-specificerad" tillvägagångssätt användes för bäck- och damm prov. Prov inom den röda sträckande linjen har perfekt överensstämmelse $\pm 20\%$.

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.

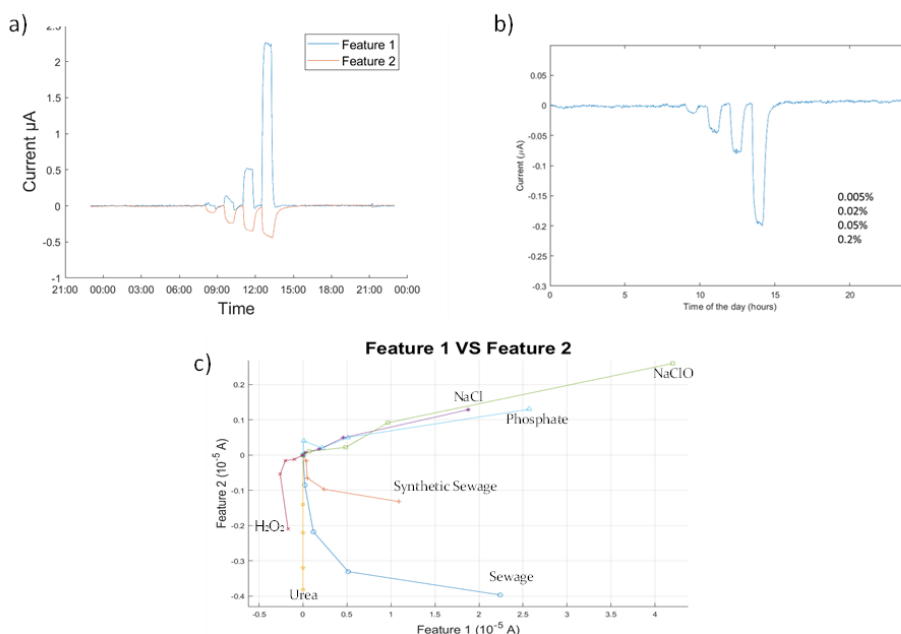
Komponent 3.1 - Ledningsnät (sensorer) (komponentledare: Mats Eriksson)

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 har under 2022 fokuserat 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.

Den elektroniska tungan har valts efter jämförande tester, i tidigare projekt, med andra sensorer, både kommersiella och forskningsbaserade. Tekniken bygger på pulsad voltammetri (en elektrokemisk metod), dvs. mätning av ström vid pålagda spänningpulser där strömmen beror på vilka ämnen som finns i vattnet. Från den uppmätta strömresponsen utvärderar vi olika särdrag som har bra känslighet, selektivitet och stabilitet för den aktuella föroreningen.

Mycket av arbetet under 2022 utfördes i form av ett examensarbete. Figur 15 visar några resultat från det och från efterföljande arbete. I korthet visar figuren att vi både har bra känslighet och låg detektionsgräns för avloppsinträngning samt selektivitet, dvs. möjlighet att särskilja avlopp från andra ämnen.



Figur 15: a) Från sensorns strömsvar kan olika särdrag (features) extraheras. Figuren visar två stycken sådana särdrag för olika koncentrationer av avlopp (0.07, 0.3, 0.7, 2,8 %) efter förprocessning och filtrering av rådata. **b)** Test av detektionsgräns. Särdraget "Feature 2" har här testats för mycket låga halter av avloppsvatten (0,005, 0.02, 0.05 och 0.2 %). **c)** Genom att kombinera sensorresponsens särdrag "Feature 1" och "Feature 2" går det att särskilja avloppsvatten från många andra ämnen.

Testerna har gjorts mot bakgrund av uppskattningar av vilka avloppshalter som kan förväntas i ett antal scenarier utvecklade vid Chalmers. Extremfallet är baserat på en felkoppling som gjordes i Nokia, Finland, 2007 då behandlat avlopp trängde in i distributionsnätet och halter kring 10 % beräknas då ha förekommit. Ett normalutbrott baseras på ett fall i Everöd, 2015, där halter kring 0,7 % beräknas ha förekommit efter häftiga regn följt av bräddningsproblem. Ett litet utbrott hamnar kring 0.05 % baserat på ett scenario med tryckfall i ledningsnätet följt av inläckage från omgivningen.

Som resultaten visar kan sensorn detektera halter i hela detta intervall och vi bedömer i dagsläget att halter ner till ca. 0.01 % kan detekteras. Det är här viktigt att komma ihåg att vi inte är nere på nivåer

som motsvarar gränsvärden för exempelvis *E. Coli*, men i förhållande till scenarierna ser resultaten mycket bra ut.

Genom att kombinera de två särdragen har även algoritmer utvecklats som kan larma för avlopp utan att falsklarma för andra ämnen. Arbetet pågår nu att vidareutveckla dessa algoritmer så att de fungerar i realtid och även vid alla 5 mätpunkter som studeras i projektet. Tekniken presenterades på konferensen IWA-WHO Water Safety Conference 2022, Narvik, 22 – 24/6, där vi visade de första resultaten från det nämnda examensarbetet.

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

(komponentledare: Thomas Pettersson och Olof Bergstedt)

Arbetet i denna komponent har inte riktigt startat ännu, under 2022, men fokus är på att kartlägga och utvärdera vilka läcksökningsmetoder som är mest kostnadseffektiva för olika typer av och storlek på ledningsläckor. Även kostnads-nyttanalyser ska genomföras för att bedöma vilka storlekar på läckor som är motiverade att aktivt läcksöka på och sedan reparera. Flera traditionella läcksökningsmetoder kommer att undersökas, som exempelvis akustiska ljudsonder, ventil- och marklyssning, invändig analog inspektion, men även indirekta metoder som sektionering och hydraulisk modellering, samt läcksökning via "smarta vattenmätare". Även en ny läcksökningsteknik att använda tränade sökhundar för att lokalisera vattenläckor kommer att studeras. Under 2022 rekryterades 12 kandidatarbetare som kommer studera olika läcksökningsmetoder, och som kommer starta i januari 2023. Även en ny doktorand som fokuserar på att studera olika läcksökningsmetoder kommer att anställas under 2023.

Komponent 3.3 - Vattenförbrukningsanalys – Hitta avvikelser för att upptäcka läckor i ledningsnätet *(komponentledare: Thomas Pettersson och Martin Wagner SLU/TZW)*

Arbetet som genomförts i denna komponent är ett samarbete mellan Chalmers och TZW (Technologiezentrum Wasser) i Dresden, Tyskland, där TZW utvecklat en AI-baserad analysmetod av dricksvattenförbrukning i avgränsade förbrukningsområden på distributionsnätet.

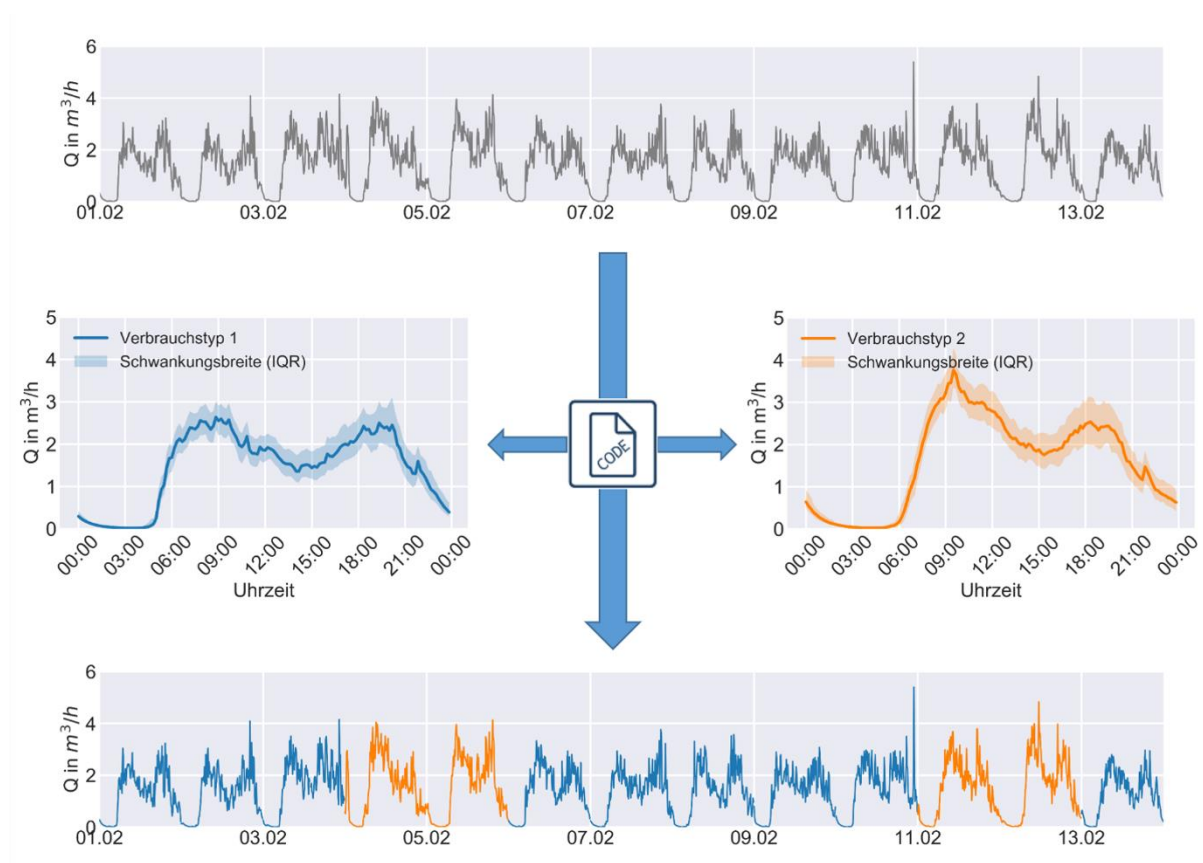
Aktivitet 3.3.1: Dataunderlag från vattenmätning i två till tre DRICKS-medlemmarnas distributionsnät kommer att inhämtas för att skapa prognosmodeller för normala vattenförbrukningsvariationer i systemet.

Datainsamling av dricksvattenförbrukning under en längre period har genomförts från sju förbrukningsområden/zoner (Zon A-G) i distributionsnätet från en av våra DRICKS-medlemmar. Vi har erhållit både flödes- (m^3/h) och volymdata (m^3) på timbasis under en fyraårsperiod (2018-2021) för de aktuella zonerna, som här hålls anonyma. Dessa data är indata för TZW:s AI-metod för att analysera tidsserierna med hänsyn till förekomsten av avvikelser i dricksvattenkonsumtionen.

Aktivitet 3.3.2: Prognosmodellen används för att göra fördjupande analyser av avvikelser, mönster eller anomalier i förbrukningen som indikerar onormal förbrukning och läckage i ledningsnätet

Med TZW:s AI-metod har tidsserierna från de sju förbrukningsområdena analyserats för att upptäcka avvikelser/anomalier i områdena. Dessa anomalier kan ha olika orsaker, såsom förändringar i konsumtionsbeteende på grund av etablering av ny industriverksamhet, läckage, men också kortvariga specifika händelser såsom lednings- eller tankspolning (operativ verksamhet), brandkåren

genomför släckningsarbete eller poolfyllning.



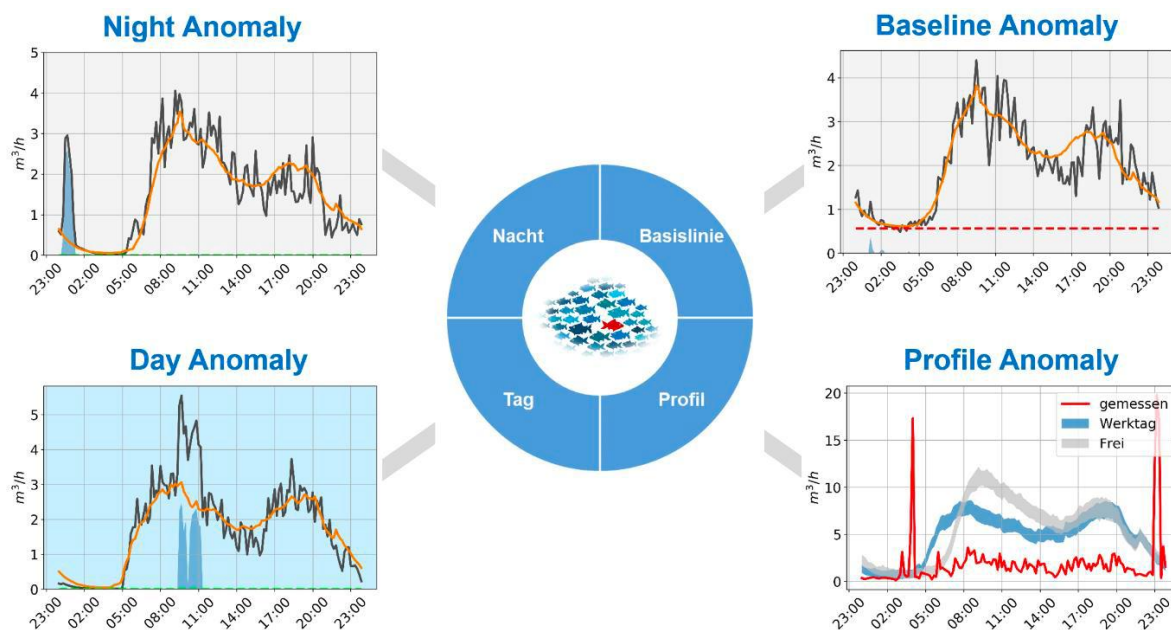
Figur 16: Överst flödesdata för en förbrukningszon, samt klassificering av konsumtionsprofil för arbetsdagar och helgdagar.

Varje förbrukningszon har analyserats med en metod som är utvecklad av TZW och som är baserad på maskininlärningsmetoder vilken i huvudsak består av två analyssteg:

- Bestämning av typiska konsumtionsbeteenden
- Bestämning av anomalier (avvikelser från normala konsumtionsmönster)

Baserat på tidsupplösta förbrukningsmätningar av förbrukningszonerna identifieras typiska konsumtionsmönster och på så sätt erhålls dagliga profiler för vattenförbrukningen som delas in i olika klasser som beskriver konsumtionsbeteendet (arbetsdag, helgdag), se figur 16.

Utifrån de två identifierade normala beteendemönstren bestäms avvikelser från dessa i ett andra analyssteg, vilka här beskrivs som konsumtionsavvikelser. Avvikelserna beskrivs som fyra olika typer av anomalier: baslinje-, dag-, natt-, och profil-avvikelser, se figur 17.



Figur 17: Procedur för analys av konsumtionsmönstret urskiljer fyra olika typer av anomalier.

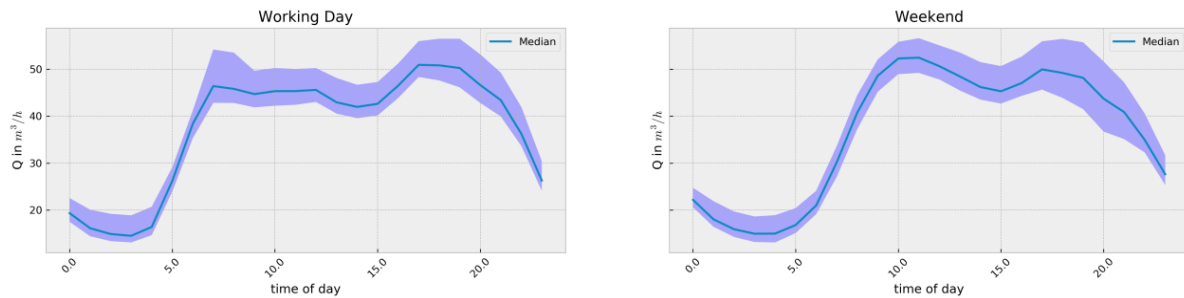
En dagtids-anomali kännetecknas av en ovanligt hög maxförbrukning under dagen medan en nattanomali kännetecknas av en ovanligt hög maxförbrukning nattetid. Detta ska inte förväxlas med den allmänna nattförbrukningen. En dag- eller nattavvikelse kan till exempel orsakas av operativa aktiviteter som spolning av ledningsnät eller tankar, eller av vattenbehov för bevattning eller brandbekämpning. Onormalt hög lägsta nattförbrukning kallas här baslinjeanomali. Här har förbrukningsprofilen en normal form men har en ovanligt hög allmän nattförbrukning, vilket visas som en röd streckad linje i figur 17. En profilavvikelse kännetecknas av en daglig profil som skiljer sig helt från normala konsumtionsprofiler.

Förutom att bestämma typen av anomali, beräknas också de dagliga vattenmängderna som orsakas av respektive typ. Det är inte alltid så att varje anomali är en betydande felhändelse. Därför, i ett ytterligare analyssteg, segmenteras tidsserierna automatiskt för att identifiera verkliga händelser.

Samtliga resultat för de sju olika förbrukningsområdena blir alltför omfattande för att rymmas i denna verksamhetsberättelse, men resultaten från två områden/zoner (Zon A och F) presenteras här översiktligt.

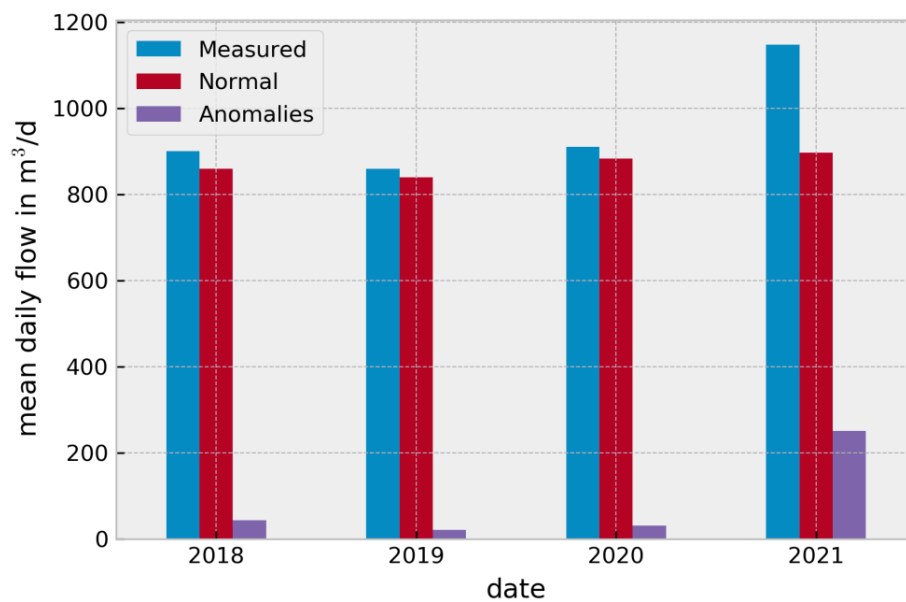
Zon A

Konsumtionsmönstren i Zon A representeras av två olika mönster (se figur 18) där tidpunkten för maxkonsumtionen på morgonen skiljer sig väsentligt mellan vardag (kl.07:00) och helg (kl.10:00).



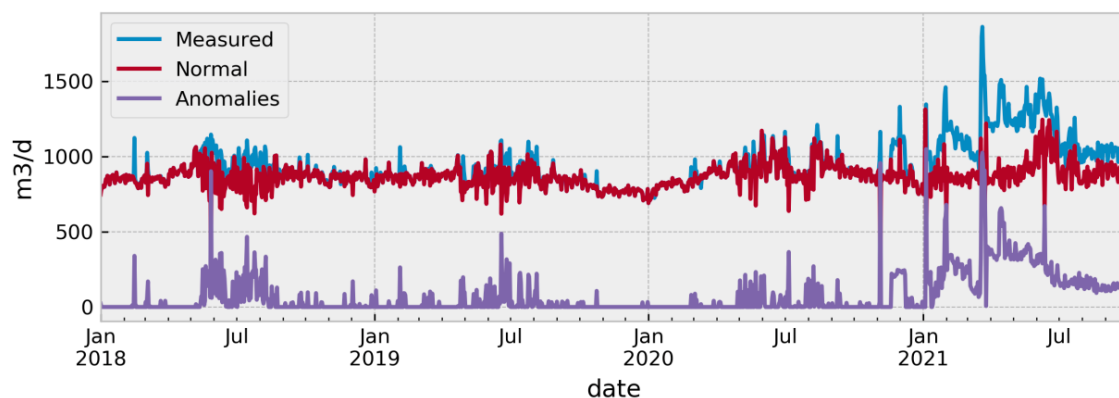
Figur 18: Identifierade normala konsumtionsmönster i zon A.

Den genomsnittliga vattenförbrukningen under åren 2018 till 2020 är ca. 900 m³/d, men ökar till ca. 1150 m³/d 2021. Samtidigt är normalförbrukningen ungefär konstant, så att ökningen kan främst hänföras till olika anomalier (se figur 19).

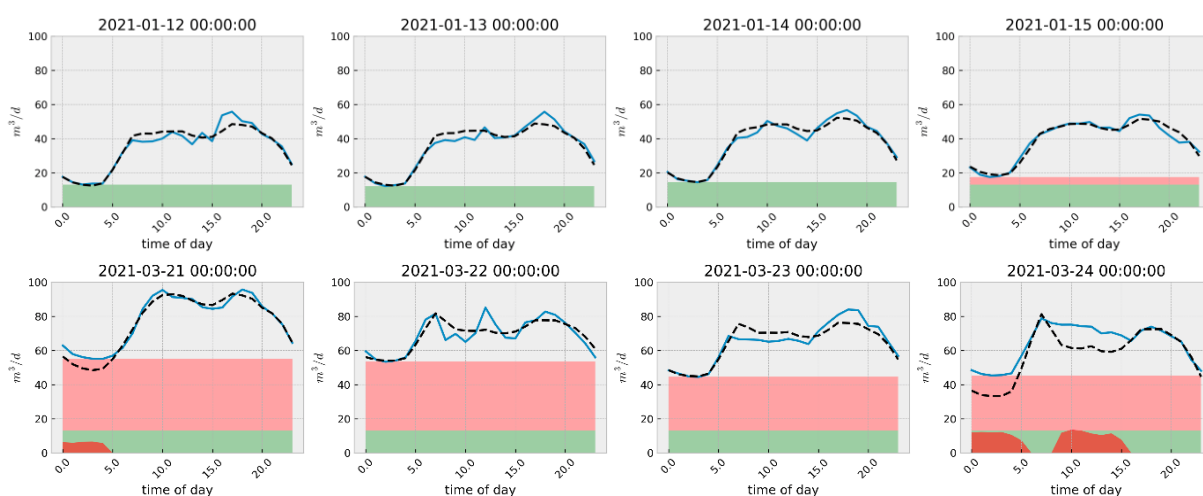


Figur 19: Differentiering av den årliga uppmätta vattenförbrukningen till normal förbrukning och onormal förbrukning i zon A.

Man kan observera mindre fluktuationer (anomalier) under sommarmånaderna varje år, vilket exempelvis kan vara orsakade av trädgårdsbevattning. Den ganska kraftigt ökade förbrukningen under 2021 består främst i baslinjeavvikelser, där två tydliga händelser kan observeras: januari/februari och slutet av mars till juli (se figur 20). Konsumtionsmönstren i dessa perioder har en form jämförbar med normala dagar, men visar en tydlig offset (kontinuerlig, permanent förbrukning på upp till ca 50 m³/h, se figur 21). Ytterligare fördjupade tolkningar är svårt att göra i nuläget, men fördjupade analyser av händelser i området kommer genomföras under 2023.

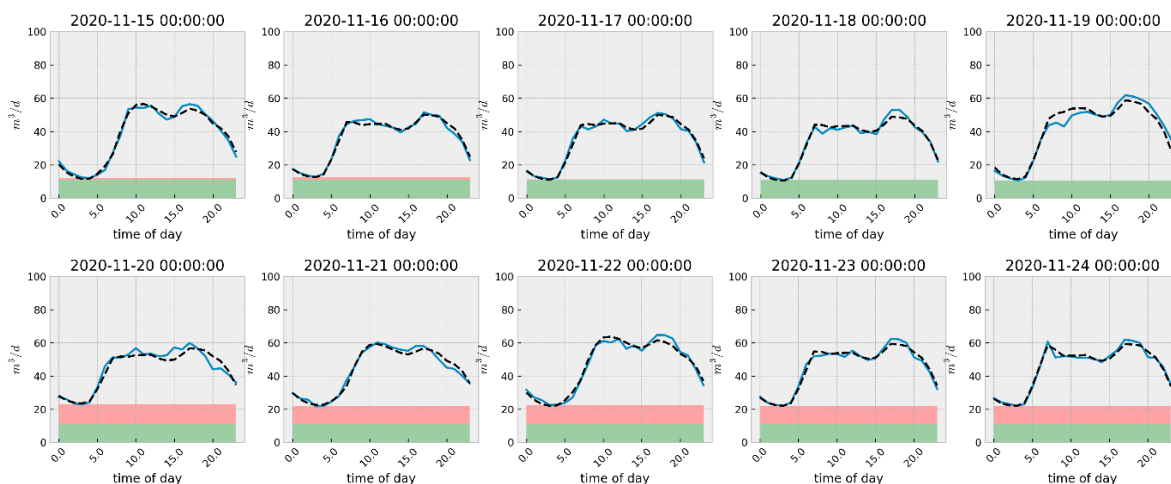


Figur 20: Tidsserier för uppmätt, normal och onormal förbrukning i zon A.



Figur 21: Dagliga förbrukningsmönster före och under en läckagehändelse 2021. Gröna fält visar normal nattförbrukning, rosa fält visar en basinjeanomali, och röda fält visar dag- och nattanomalier.

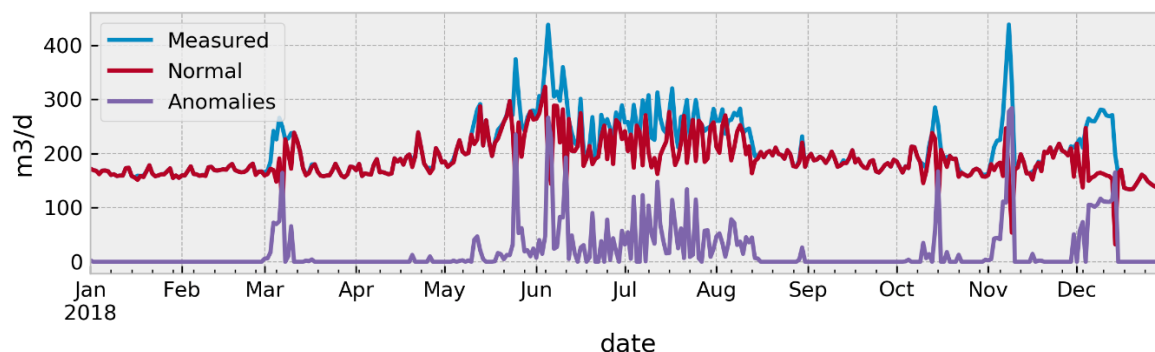
Utöver dessa mycket märkbara händelser under 2021 upptäcktes även ett läckage i Zon A under november/december 2020 (se figur 22).



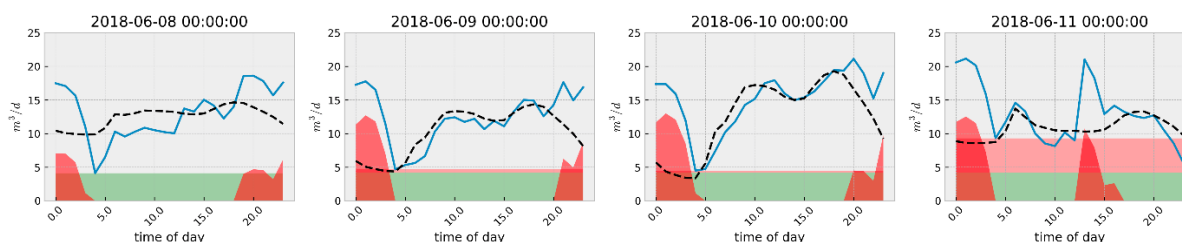
Figur 22: Läckagehändelse i november 2020 i Zon A. Gröna fält visar normal nattförbrukning, rosa fält visar en basinjeanomali, och röda fält visar dag- och nattanomalier.

Zon C

De typiska konsumtionsmönstren i Zon C uppvisar liknande egenskaper som de från zon A där tidpunkten för maxkonsumtionen på morgonen skiljer åt på samma sätt (vardag kl.07:00, helg kl.10:00). Under 2018 identifierades totalt tre läckagehändelser: i mars, i november och i december (se figur 23). Konsumtionsavvikelser förekommer under sommarmånaderna även i Zon C, liksom i Zon A, men dessa fluktuationer beror sannolikt inte heller på läckage. Dessutom är fluktuationerna på en försumbar nivå. De kan beskrivas som förbrukningsstoppar under natten. Exempel på dessa visas i figur 24.



Figur 23: Tidsserier över uppmätt, normal och onormal förbrukning i zon C under 2018.

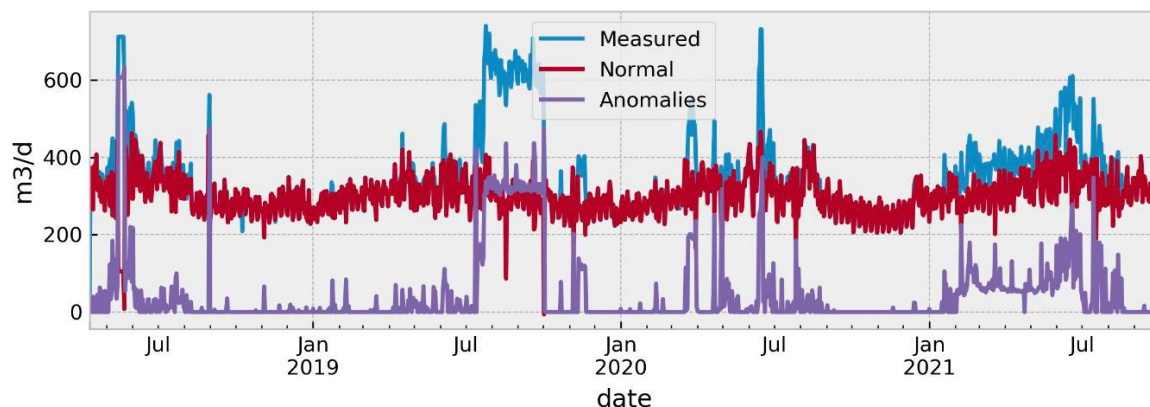


Figur 24: Exempel på onormala konsumtionstoppar under natten i zon C.

Zon F

Zon F har en medelförbrukning mellan ca. 300 m³/d och ca. 380 m³/d. Fluktuationerna orsakas av baslinjeavvikelser, medan normal förbrukning i stort sett är konstant kring 300 m³/d.

En ökad konsumtion sker särskilt under åren 2019 och 2021, och för 2019 beror det sannolikt på läckage (juli till slutet av september) och för 2021 beror det sannolikt på en förändring i typer av konsumenter i området. År 2021 ökar den totala konsumtionen något mellan januari och augusti, men återgår till det normala från september och framåt. Baslinjeavvikelse som orsakas av detta är sannolikt inte egentliga läckage, eftersom förekomstperioden är mycket lång, cirka åtta månader (se figur 25).



Figur 25: Tidsserie med uppmätt, normal och onormal förbrukning i Zon F.

Sammanfattningsvis kan man få ut mycket intressant och användbar information från fördjupade analyser av dricksvattenförbrukningen och dess förbrukningsvariationer i ett avgränsat försörjningsområde. Samtliga anomalier som identifierats i de olika områdena (zoner) behöver följaktligen följas upp med att analysera vilka händelser som dricksvattenproducenterna själva har noterat och åtgärdat under de analyserade åren. Detta för att verifiera eller falsifiera de identifierade händelserna från AI-modellen. Under 2023 kommer händelser som vattenproducenten loggat i de sju områdena att studeras och analyseras, samt att ytterligare förbrukningsområden i andra kommuner och vattenproducenter kommer att analyseras med TZW:s AI-baserad analysmetod.

Komponent 3.4 - Biostabilitet (komponentledare: Catherine Paul och Kathleen Murphy)

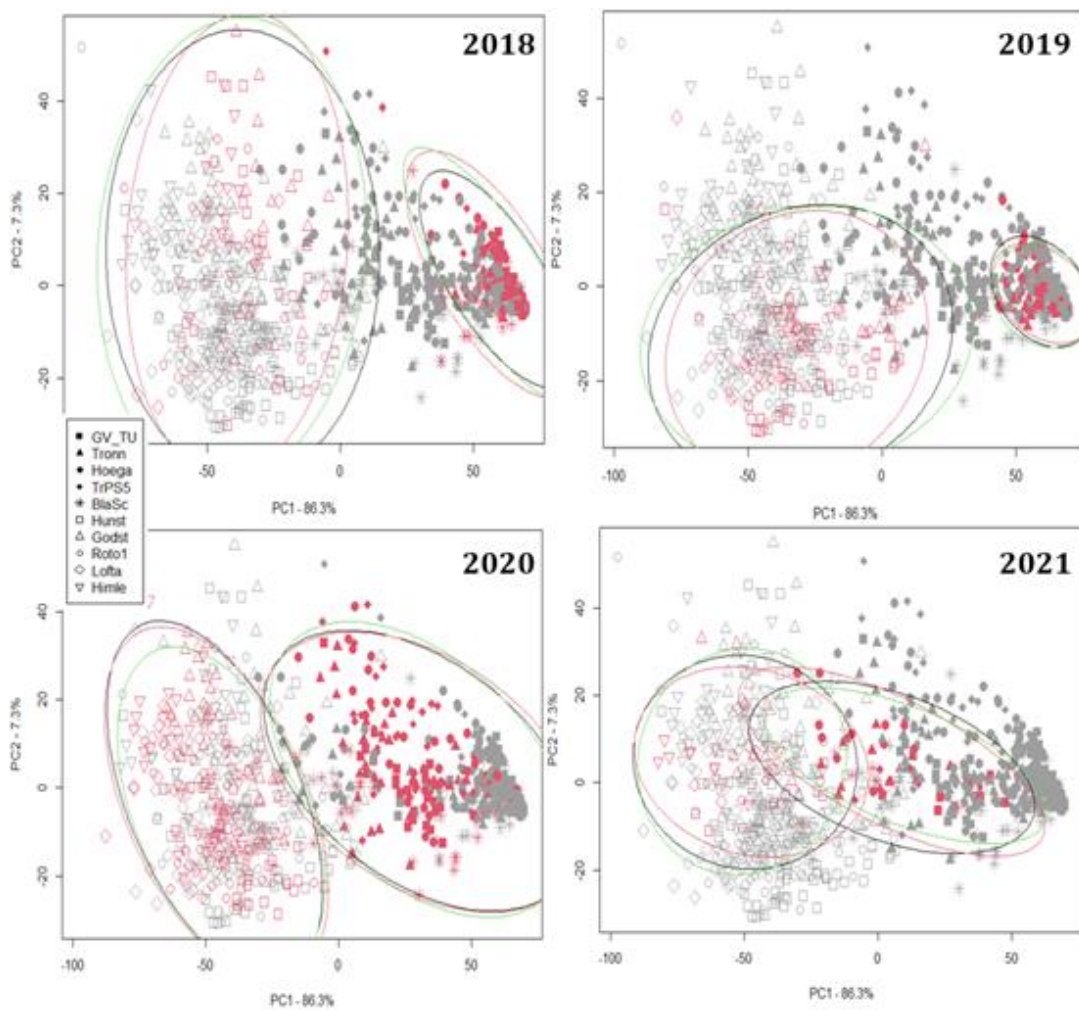
Aktivitet 3.4.1: Använda metagenomisk DNA-sekvensering för att utforska den eventuella kopplingen mellan den mikrobiella floran och kranvattnets lukt- och smak-upplevelser utifrån prover från Halland, Skåne och Blekinge.

Den här aktiviteten är försenad p.g.a personalbyte hos FOI (Umeå). Förhoppningsvis kommer projekt i gång igen under 2023.

Aktivitet 3.4.2: Sammanställa flödescytometridata (fingeravtryck av bakterier) och kemiska data för övervakning av biostabilitet i ledningsnät, med och utan monokloramin.

VIVAB har, med stöd från Lunds universitet och Högskolan i Kristianstad, använt flödescytometri tillsammans med principalkomponentanalys (PCA) för att följa förändringar i biostabilitet när monokloramin tagits bort från deras ledningsnät (figur 26). Varje punkt representerar ett fingeravtryck av alla bakterier i vattenprovet. År 2018 och 2019 kan man se två olika kluster som representerar bakterier i vattnet med monokloramin (fyllda punkter, till höger i panelen) och utan monokloramin (öppna punkter, till vänster i panelen). Då monokloramin togs bort under den första delen av 2020 förändrades bakterierna i vattnet, vilket i PCA:n visas av att punkter förflyttar sig från höger till vänster i panelen. Statistisk analys av hur mycket de två klustren skiljde sig åt visade att det under 2021 nästan inte fanns någon separation mellan provpunkterna med respektive utan monokloramin. Det indikerade att bakterierna i vattnet inte längre skiljde sig så mycket mellan de 16 olika provtagningsplatserna som när monokloramin var i vattnet. Därmed var det monokloraminet i vattnet som till stor del orsakade skillnaderna i bakteriell sammansättning inom VIVABs ledningsnät.

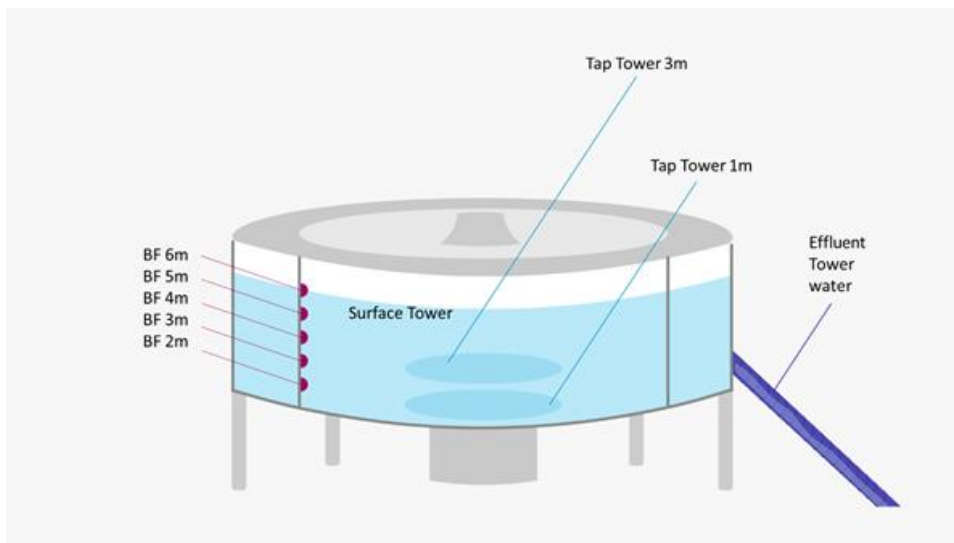
Att bakteriesammansättningen i vattnet blev mycket mer stabil med mindre variation var inte möjligt att observera utifrån odlingsbaserade analyser av biostabiliteten. För att i framtiden utvärdera biostabilitet kan det vara möjligt att med hjälp av en teknik kallad bootstrapping definiera en 95% konfidensyta för variationen inom ett ledningsnät. Ett nytt vattenprov med ett fingeravtryck som hamnar utanför ytan kan signalera en snabb förändring i vattnet, vilket tillsammans med online flödescytometriinstrument skulle kunna leda till realtidsövervakning av biostabilitet, förändringar i vattenkvaliteten eller andra hot.



Figur 26: En 2D PCA analys på flödescytometridata, med tillhörande bootstrappade 95% konfidensellipser, för visualisering av bakteriefloran vid borttagandet av monokloramin från Varbergs dricksvattnät. Data samlades in före (2018, 2019) och efter (2020, 2021) borttagning av monokloramin. Fem olika provtagningsplatser var exponerade till mätbara halter monokloramin (infärgade punkter, GV_TU, Tronn, Hoega, TrPS5, BlaSc) och fem platser visade inga mätbara monokloraminhalter (öppna punkter, Hunst, Godst, Roto1, Lofta, Himle). Varje kvadrat visar datapunkter från samtliga, med punkter från det indikerade året i rött.

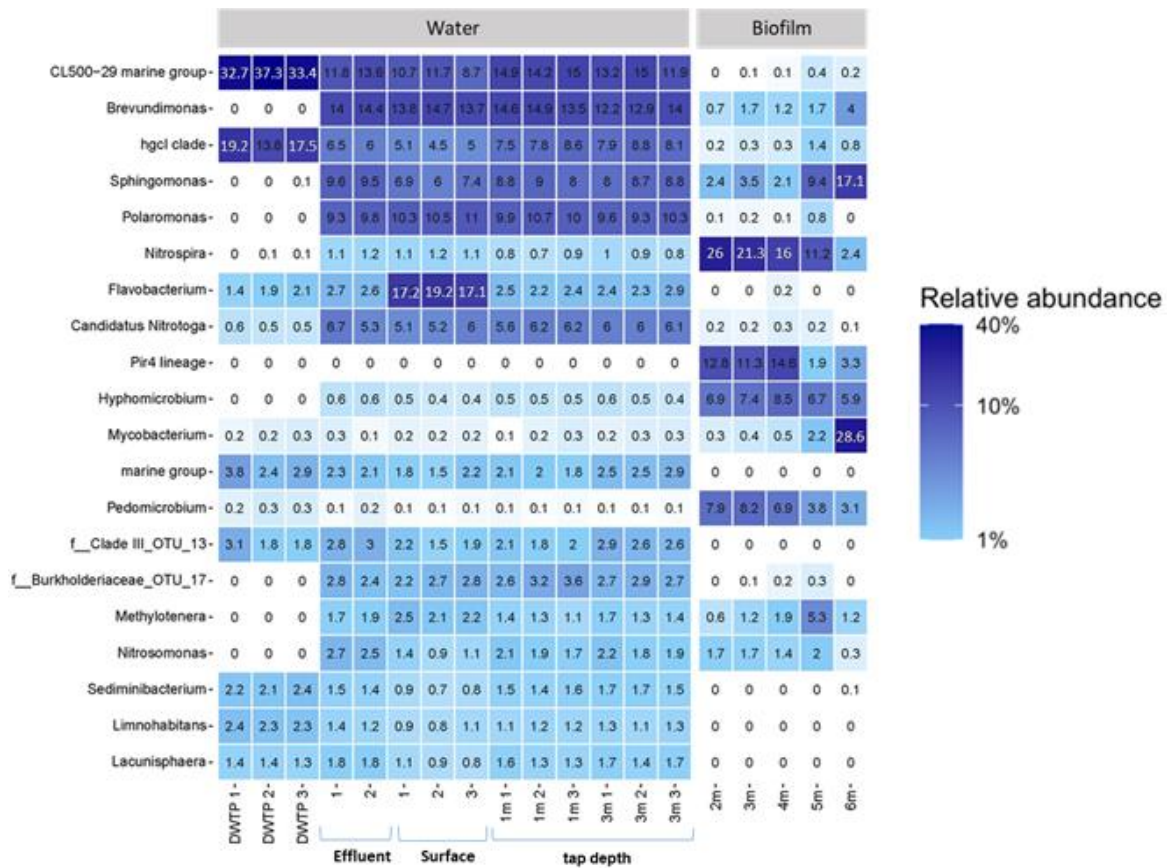
Aktivitet 3.4.3: Beskriva mikrobiologiskt, biofilmen och vatten i två olika vattentorn och dess koppling till ledningsnätet.

Inom SVU projektet 22-09 analyserade Norrvatten tillsammans med Lunds universitet ett vattentorn i norra Storstockholm som under många år haft problem med höga HPC-halter under sensommaren och hösten (figur 27). Online flödescytometri kombinerat med rutinmässig odlingsbaserad räkning av HPC gav upphov till nya drifrutiner för vattentornet. Dessa kunde tas fram och utvärderas med hjälp av online data som övervakar den bakteriella dynamiken i vattentornet. Den nya FCM-styrda drifrutinen, som innefattar regelbundna reservoartömningar, kunde återställa HPC-nivån till några enstaka cfu per ml, vilket indikerar en problematisk tillväxt i vattentornet. Återkomsten av HPC redan två veckor efter tömning tyder på att källan till problemet inte spolades ut ur tornet.



Figur 27: Provtagningsplatser för DNA-analys av bakterier i både vattnet och i biofilmen.

DNA-analys från vattnet och biofilmen i vattentornets inre bassäng visade förekomst av tre potentiella HPC-bakterier i bulkvattnet och ytfilmen som kan ha orsakat odlingsvar med bedömningen tjänligt med anmärkning, nämligen *Sphingomonas*, *Polaromonas* och *Flavobacterium*. Övriga bakterier i bulkvattnet med en relativ förekomst på > 5 % bedöms främst vara icke-odlingsbara eller svårödlade bakterier. Värt att notera var att *Flavobacterium* visade stor förekomst i ytfilmen (18 %) jämfört med de övriga bulkvattenproverna från reservoaren (2,5 %). *Sphingomonas* och *Polaromonas* påvisades även i reservoarens väggbiofilm, men ej i utgående dricksvatten från Görvälnverket (figur 28). Biofilmsproverna från bassängens väggar visade att *Sphingomonas* och *Mycobacterium* ökade i relativ förekomst gradvis från den nedre delen av bassängväggen till den översta, periodvis luftexponerade, delen av reservoarväggen.



Figur 28: DNA sekvenseringens resultat i jämförelse med de 20 mest bakteriella genera mellan vatten och biofilm från vattentorn. Mörkblå betyder relativt höga mängder av DNA-sekvenser och vit inga DNA detekterade.

De potentiella källorna till HPC-bakterierna kan vara frisättning från reservoarens biofilm och efterföljande tillväxt i bulkvattnet och/eller att bakterierna följer med det inkommande dricksvattnet. Det finns även en teoretisk möjlighet att bakterierna kontaminerar reservoarvattnet via tornets luftintag. Att HPC-problemet är kopplat till perioden juli t.o.m. oktober, en period med höga vattentemperaturer på cirka 12 °C, tyder på en betydande tillväxt av de oönskade HPC-bakterierna i tornet.

Bakterieidentifieringen av åtta HPC-kolonier från olika delar av reservoarens bulkvatten visade att samtliga tillhörde det gram-negativa släktet *Polaromonas*, medan två HPC-kolonier från tornets ytfilm visade förekomst av *Microbacteriaceae*, som är gram-positiva jordbakterier. *Polaromonas* är ett släkte av harmlösa bakterier vars optimala tillväxttemperatur är 4–12 °C (Jang et al. 2019) och kolonimorfologin hos arten *Polaromonas aquatica*, som tidigare isolerats från kranvatten i Sverige (Kämpfer et al. 2006), överensstämmer med de isolerade HPC-koloniernas morfologi. Genetiska studier visar att *Polaromonas* har förmågan att reducera nitrat vid låga temperaturer vilket kan ha betydelse då monokloramin, som används i detta ledningssystem, stimulerar nitrifikationsprocessen och därmed bildandet av nitrat (Pullerits et al. 2020b). *Polaromonas* och *Sphingomonas* påvisades även i biofilmen på reservoarens väggar, men ej i utgående dricksvatten från Görvälnverket. Den relativa förekomsten av *Polaromonas* i biofilmen var dock låg jämfört med *Sphingomonas*. Pullerits et al. (2020a) har visat att *Polaromonas* fanns i Görvälnverkets vatten i mitten av mars 2018 i samband

med Mälarens vårcirkulation samt att bakterien inte är UV-känslig. Detta innebär att bakterien kan förekomma i distribuerat dricksvatten och därmed återkontaminera reservoaren efter t.ex. rengöring och desinfektion. Att övriga två vattentorn som är kopplade till Görvälnverket inte har samma problem med höga HPC-halter kan bero på bättre omsättning och omblandning av reservoarvattnet i dessa reservoarer.

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*)

I denna komponent avser vi att samla QMRA-verktygets olika delar till en samlad applikation samt att driva utvecklingen av ett motsvarande verktyg för långsiktiga kemiska hälsorisker (QCRA).

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

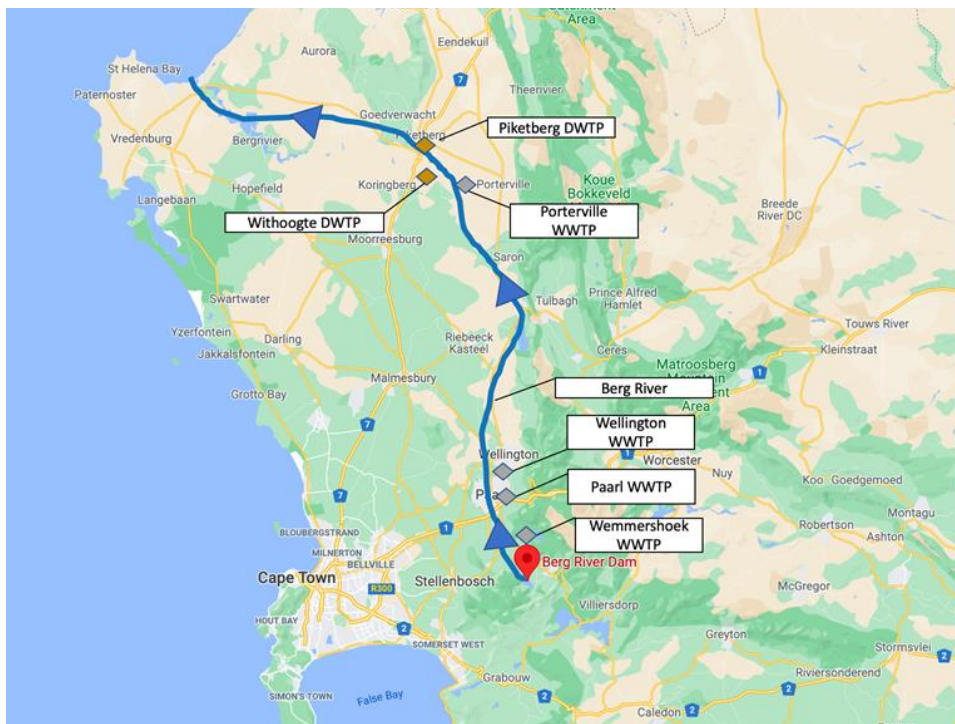
De olika varianterna av QMRA-verktyget, samt tillhörande stödmaterial och kompletterande verktyg, tillhandahålls alla via dricks hemsida (www.dricks.se). Under året har en del tekniskt underhåll gjorts för att online-versionerna av modellerna fortsatt ska fungera i tillverkarens system.

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 antaganden 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 kommande år kommer vi att arbeta vidare med detta och se vilka uppdateringar som är rimliga och bör genomföras.

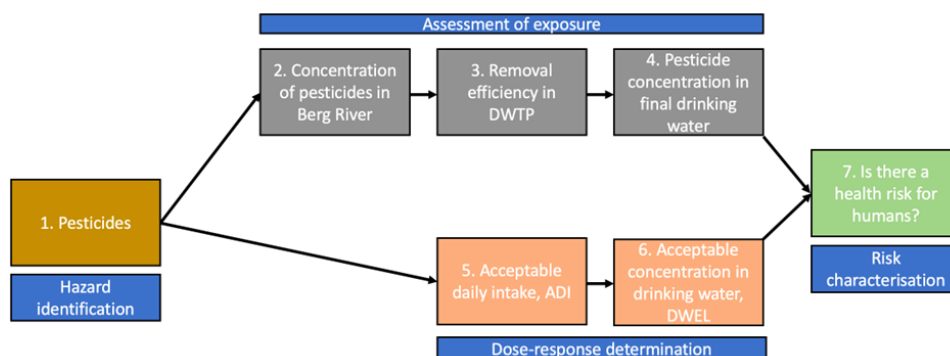
Aktivitet 4.1.3: Framtagande av prototyp och utvärdering av förutsättningarna för ett QCRA-verktyg.

Under 2022 har arbetet med att utveckla en QCRA-modell (kvantitativ kemisk riskbedömning) fortsatt med ytterligare ett examensarbete (Engman och Pettersson, 2022), vilket är en fortsättning på det examensarbete som genomfördes av Andersson och Svärd (2021), som också genomfördes för ett dricksvattensystem i Berg River i Stellenbosch, Sydafrika, se figur 29. Arbetet från 2021 presenterades även på Water Safety Conference i Narvik 22-24 juni 2022.



Figur 29: Karta och bild över råvattentäkten Berg River.

Examensarbetet som Engman och Pettersson (2022) genomförde fokuserade på riskbedömningar av bekämpningsmedel som läcker ut i råvattentäkten, Berg River, eftersom bekämpningsmedel används i stor utsträckning inom den sydafrikanska jordbrukssektorn och i detta fall vinodlingar längs floden. Bekämpningsmedlen används utan tydliga nationella bestämmelser om tillåten mängd eller vilka bekämpningsmedel som är lagliga att använda. Exponering för bekämpningsmedel har erkänts vara ett av de största globala kemiska hoten mot människors hälsa. Vattendrag är ofta omgivna av jordbruksmark och därmed utgör spridning av bekämpningsmedel från dessa marker en risk för vattenmiljön. Projektet har undersökt om långvarig exponering för bekämpningsmedel i dricksvattnet kan utgöra en hälsorisk för människor som konsumerar detta dricksvatten genom att använda och vidareutveckla QCRA-modellen, se schematisk bild i figur 30.



Figur 30: QCRA-modellen schematiskt beskriven.

Bekämpningsmedlen; atrazin, simazin och imidakloprid analyserades för olika befolkningsgrupper; spädbarn, barn och vuxna, och inom tre olika scenarier i vattenverken. Dessa scenarier inkluderade

normal drift, avsaknad av rening samt normal drift med tillägg av aktivt kol -filter (GAC). Fältstudier utfördes vid vattenverket där råvatten- och dricksvattenprover samlades in och analyserades för de aktuella bekämpningsmedlen. Övriga indata för modellen sammanställdes genom en litteraturstudie. En känslighetsanalys gjordes för att utvärdera vilken indata som påverkade resultaten mest. Det fanns detekterbara halter av alla bekämpningsmedel i råvattnet och dricksvattnet. Studien kom till slutsatsen att det inte finns någon långsiktig hälsorisk för människor som konsumerar dricksvatten från vattenverket vid floden för något av scenarierna. Spädbarn som får mjölkersättning var dock den konsumentgrupp som var utsatt för den högsta hälsorisen när de exponerades för simazin. Scenariot där GAC installerades i vattenverket resulterade i betydligt lägre koncentrationer av bekämpningsmedel i dricksvattnet.

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.

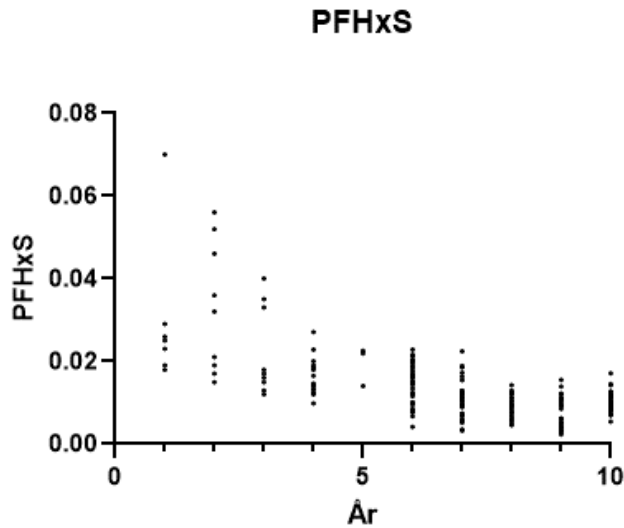
Ett examensarbete är påbörjat och är i slutfasen (presenteras i slutet av maj 2023). Ett manuskript på detta ämne ("Transformers enable accurate prediction of acute and chronic chemical toxicity in aquatic organisms") kommer finnas tillgängligt som preprint på arXiv första veckan i april 2023. Utöver detta har diskussioner med Kemikalieinspektionen kring AI och dess potential att förbättra riskbedömning av kemikalier initierats. Vi planerar ytterligare ett manuskript med fokus på att med hjälp av AI hitta kemikalier som ökar risken för cancer och reproduktionsstörningar.

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 (CETCHAA).

Aktivitet 4.2.1 Riskrankning av oönskade ämnen i dricksvatten.

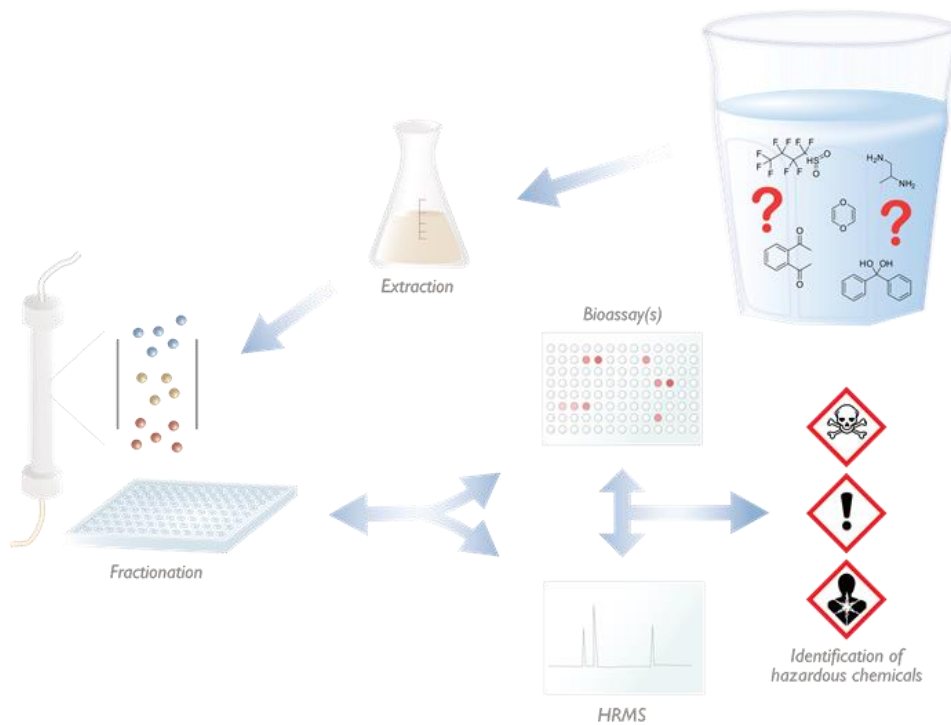
Syftet är att undersöka tillämpbarhet av ett verktyg för ranking av kemiska hälsorisker (Risktermometern) som ett prioriteringsverktyg för åtgärder mot oönskade kemiska ämnen i dricksvatten (DV). Specifika mål är att testa verktyget med data från tre olika vattenverk: Gränby (Uppsala), Bäcklösa (Uppsala) och Görväln (Norrvatten), och svara på frågorna: Hur väl tillgodoser verktyget DV-producenternas behov? Och vad behöver utvecklas för att bättre passa vattenproducenternas behov? En haltdatabas över 270 oönskade ämnen i utgående DV från de tre deltagande vattenverken de senaste 5-10 åren har sammanställts. Ämnena omfattar både metaller och organiska miljöföroreningar. Därtill har vetenskapligt högkvalitativa hälsobaserade referensintag (HBRI) för oönskade ämnen med detekterbara halter samlats in och sammanställts i en databas tillsammans med deras kritiska hälsoeffekter. I sista steget av projektet ska beräknade intag av de oönskade ämnena från dricksvatten kopplas ihop med HBRI i verktyget Risktermometern för en ranking av ämnena ur ett hälsoriskperspektiv. I detta projekt har vi till exempel kunnat identifiera och studera tidstrender av oönskade ämnen i dricksvatten. I figur 31 ges exempel på tidstrender för PFHxS i ett av de deltagande vattenverken under en 10-årsperiod.



Figur 31: Tidstrend av PFHxS i utgående vatten från ett av de deltagande vattenverken under en 10-årsperiod.

Aktivitet 4.2.2 Effektbaserad testning.

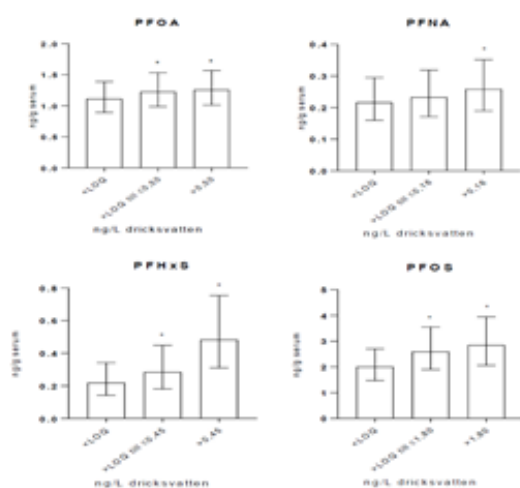
Målet med denna komponent är att etablera en teknik för effektdriven analys (EDA) av kemiska hälsorisker i dricksvatten. Hittills har de kemiska respektive effektbaserade metoderna utvecklats var för sig, medan den integrerade delen dröjer. De effektbaserade metoderna har utvecklats genom optimering av *in vitro* bioanalyser med exogena metaboliska komponenter samt genom bedömning av bioaktiviteten för två vanliga naturligt förekommande mykotoxiner och deras metaboliter (deoxynivalenol och zearalenone) ur ett dricksvattenperspektiv. Den konceptuella flödeskedjan har presenterats på en konferens (Lindblad et al, 2022) där illustrationen i figur 32 ingick.



Figur 32: Konceptuell figur av hur effektdriven analys (EDA) går till.

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

En delstudie inom projektet CETCHAA undersöktes. Syftet har varit att undersöka PFAS i dricksvatten som exponeringskälla för svenska ungdomar som deltog i en Riksomfattande matvaneundersökning genomförd av Livsmedelsverket (Riksmaten ungdom 2016-17). PFAS analyserades i blodserum från ungdomarna och i vatten från vattenverken som levererade dricksvatten till ungdomarnas skolor och hem. Resultaten visar att bakgrundshalter (> 10 ng Σ 4PFAS/L) i dricksvatten är en signifikant exponeringskälla och resultaten är samstämmiga med Livsmedelsverkets nya gränsvärde på 4 ng av Σ 4PFAS per liter. Halter så låga som 2.8 ng Σ 4PFAS/L verkar ha möjlighet att bidra till att tolerabelt veckointag (TVI) överskrids för yngre åldrar. En rapport med resultat från studien publicerades 2020 och en vetenskaplig artikel granskas nu inför publicering. Figur 33 illustrerar sambanden mellan PFAS-halter i blodserum och dricksvatten.



Figur 33: Samband mellan PFAS-halter i blodserum från ungdomar i Sverige ($n = 1097$) och dricksvatten från vattenverk som levererar dricksvatten till ungdomarnas hem och skolor.

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 DBPs 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.

Hittills finns kunskap om några kända flyktiga N-DBPs (6 vattenverk i Sverige). Utefter ett liknande tänk som ett kemisk-riskverktyg planeras dessa data sättas i relation till toxiciteten hos de individuella ämnena för att undersöka hur dessa N-DBPs bidrar till toxiciteten i Svenska dricksvatten jämfört med trihalometanerna. Denna översikt planeras att visas på ett seminarium under hösten 2023. Undersökning på en mer detaljerad nivå, där arbete kring hur N-DBPs sammansättning varierar

mellan vattenverk i Sverige, kommer att undersökas längre fram och första steget kommer att fokusera på utveckling av metoder för att extrahera och mäta dessa ämnen på ett bra sätt. Inga medel har upparbetats kring denna aktivitet under 2022 p.g.a. en föräldraledighet.

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

Syftet är att svara på frågan: Är det möjligt att förutsäga hur många DBPs som kommer att bildas baserat på NOM-reaktivitet mätt med fluorescens? Arbetet kring datamaterial med fluorescens och adsorberbara organiska halogener (AOX), som är ett totalmått för DBP bildning, har flyttas fram till 2023 p.g.a. en föräldraledighet.

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 2022 arrangerades två DRICKS-internat, ett seminarium, en workshop och sju DRICKS-möten. Under det första halvåret skedde de flesta möten digitalt för att sedan kunna återgå till fysiska träffar. Dock har många möten fortsatt som digitala då fler har haft möjlighet att närvara.

DRICKS-internat 2022

Årets första DRICKS-internat hölls helt digital. Det hade planerats för ett fysiskt internat i Helsingborg men en ny våg av covid-19 och fortsatta restriktioner gjorde att man valde att ha ett digitalt arrangemang 11-12 januari. I stället flyttades det fysiska internatet till hösten.

Vid det digitala internatet i januari deltog DRICKS berednings- och styrgrupper samt representanter från samtliga medlemskommuner och forskningsmiljöer via länk. Under internatets första dag deltog även DRICKS företagsgrupp vilka presenterade först sig och sedan sin projektidé MiKe. Det genomfördes även en Menti-undersökning där alla fick svara på hur samarbeten med FG kan komma att se ut. Pågående forskning inom DRICKS olika arbetspaket presenterades och avslutningsvis gav Arezou Baba Ahmadi vid Chalmers en inspirationsföreläsning om grön betong.

Under dag två hölls det fördjupande presentationer av olika DRICKS-relaterade projekt, en presentation av Membrangruppen och sedan avslutades det digitala internatet med en frågestund.

Den 6-7 september var det så äntligen dags för alla DRICKS medlemmar att träffas fysiskt i Helsingborg. Under två dagar minglade 50 forskare och va-producenter på Radisson Blu Metropol Hotel. Dag 1 inleddes med kortare presentationer av DRICKS arbetspaket 1-4, följt av en introduktion av DRICKS alla doktorander.

Återigen var företagsgruppen med under dag 1 och höll en presentation om kompetensförsörjning inom branschen, en presentation av det nyligen uppstartade MiKe-projektet samt en workshop som dryftade till att öka samarbetet mellan va-organisationer, forskare och företag.

Eftermiddagen avrundades med ett mycket uppskattat besök på RecoLab nere i Oceanhamnen. Där gavs en guidad tur som gav inblick i processerna där näringsämnen och vatten återvinns ackompanjerat av mingelmat från Bruket Kaffebar. En trevlig middag i hotellets restaurang avslutade den första dagen.

Dag 2 drog i gång tidigt med projektpresentationer där DRICKS forskare redogjorde för fem av de fallstudier som initierats under 2021. Vi fick även fördjupa oss inom PFAS i dricksvatten och i projektet ClimAqua. Därefter hölls en workshop på tema omvärldsbevakning där deltagarna reflekterade kring två frågeställningar. Internatets inspirationsföreläsning stod David Stiernholm för där han tipsade om hur man kan skaffa sig superstruktur och på så sätt få mer tid över. Eftermiddagen bjöd på två presentationer om storskalig data och dess tillämpningar och utmaningar. Samt en avslutade workshop om samverkan och kommunikation, där alla fick fundera på hur detta kan utvecklas inom DRICKS.

[DRICKS workshops/seminarium](#)

Seminarium: Rationell mikrobiell analys för biostabilt dricksvatten

Projektansvariga från VA SYD, Sydsvatten, Norrvatten, Vivab och Lunds universitet redovisade den 10 maj resultaten från SVU-projektet "Rationell mikrobiell analys för biostabilt dricksvatten". Projektet har omfattat fleråriga studier i fyra distributionssystem, närmare bestämt i Lund, norra Storstockholm, södra Storstockholm och i Varberg. Målet med projektet var att med hjälp av bland annat riktad dna-baserad flödescytometri (FCM) identifiera övergripande faktorer som påverkar biostabiliteten i ledningsnätet samt att föreslå åtgärder för att upprätthålla dricksvattenkvaliteten. Effekterna av primär och sekundär desinfektion undersöktes mer noggrant.

Peter Rådström, professor emeritus vid Lunds universitet var sammankallande. Cirka 57 personer deltog i seminariet.

Workshop i informationssäkerhet

Den 5 oktober höll medlemmar ur DRICKS beredningsgrupp en uppskattad workshop på det aktuella temat informationssäkerhet. Under en dag samlades 22 vattenproducenter och säkerhetsexperter på Radisson Blu Scandinavia i Göteborg för att diskutera säker informationsdelning i syfte att lära sig mer om informationssäkerhet samt utbyta idéer, problem och arbetssätt. Ämma Pettersson från Nodra, Kristina Holm för Kretslopp och vatten Göteborg samt Johanna Hilding från Trollhättan energi var sammankallande och hade satt ihop ett spännande program. Inledningsvis höll Birger Wallsten från Svenskt vatten en allmän föreläsning kring informationssäkerhet. Därefter delades deltagarna in i smågrupper och fick med sig fyra frågor att diskutera. Efter lunch höll Helena Hallagård på Kretslopp och Vatten Göteborg en föreläsning kring informationssäkerhetsarbete för dricksvatten.

Eftermiddagen avslutades med redovisning av de lösningar och erfarenheter som framkommit i gruppdiskussionerna.

[DRICKS-möten](#)

DRICKS arrangerar regelbundet möten mellan forskarna. Ibland görs presentationer av pågående forskning och då bjuds även DRICKS medlemmar in till dessa möten.

DRICKS-möte (2022-04-05)

Den 4e april hölls ett digitalt möte på temat skydd, övervakning och avancerad analys av dricksvatten i kristider. Catherine Paul, LU introducerade först Erik Westerberg vid Livsmedelsverket som berättade om deras projekt "Expanderad nationell laboratorieförmåga för analys av dricksvattenprov

med okänt innehåll vid kris och höjd beredskap" i cirka 10 minuter. Därefter presenterade Catherine David Sundell från FOI som pratade i cirka 20 minuter om MSB-projektet "Ökad CBRN förmåga för skydd och övervakning av dricksvatten i fortifikationer". Efteråt var det allmän frågestund där flera deltagare visade intresse för vidare dialog utanför mötet med Erik och David. Cirka 32 deltagare närvarade via Zoom. Planering stod Catherine Paul, LU och Karin Wiberg, SLU för.

DRICKS-möte (2022-05-03)

Den 3e maj var det dags för det första av fyra planerade möten där DRICKS ger en avrapportering av respektive arbetspaket inför höstens internat. Syftet är att ge en helhetsbild inom de respektive arbetspaketen och komponenterna genom att fråga vad som har gjorts hittills under 2022 och vad planerna är framåt, som ska sammanfattas i en Verksamhetsplan för 2023. Första arbetspaketet att presenteras var AP3, Hållbar distribution. Föredragande var Mats Eriksson, LiU, Thomas Pettersson, Chalmers och Catherine Paul, LU. Cirka 27 personer deltog i mötet via Zoom.

DRICKS-möte (2022-06-17)

Under mötet presenterades resultat, pågående arbete och kommande aktiviteter inom arbetspaket 1, Säker vattentillgång. Arbetspaketets tre huvudkomponenter presenterades och AP-ansvarige Andreas Lindhe från Chalmers var föredragande tillsammans med komponentledare Ekaterina Sokolova, UU, Catherine Paul, LU, Karin Wiberg, SLU och Olof Bergstedt, Chalmers. 33 personer närvarade via Zoom.

DRICKS-möte (2022-08-26)

Catherine Paul, LU, Kathleen Murphy, Chalmers och Lutz Ahrens från SLU presenterade arbetspaket 2, Framtidens vattenverk vars långsiktiga mål är att stärka forskning och utveckling av hållbara, flexibla och behovsstyrda vattenverk som i samklang med distributionsnätet levererar ett hälsosamt och kvalitetssäkrat dricksvatten. Som mest deltog 49 personer via Zoom.

DRICKS-möte (2022-09-26)

Sist ut av AP-presentationerna var arbetspaket 4, Säker vattenkvalitet. AP-ansvarige Karin Wiberg inledde mötet, och sedan tog komponentledare Andreas Lindhe, Thomas Pettersson, Lutz Ahrens, Kathleen Murphy samt Erik Kristiansson från Chalmers och Anders Glynn från SLU över och presenterade arbetspaketets tre huvudkomponenter. Cirka 30 personer deltog digitalt via Zoom.

DRICKS-möte (2022-11-08)

I november hölls ett digitalt möte runt PFAS-problematiken inom dricksvattenproduktion. Det gavs tre presentationer inom ämnet och efteråt blev det gemensam diskussion och frågor.

- *PFAS in drinking water source areas – should we be concerned?* – Lutz Ahrens, docent vid SLU
- *Ett vattenverks strategi för <4 ng/l PFAS4 – Things are only impossible until they're not.* – Philip McCleaf, utvecklings- och processingenjör på Uppsala Vatten
- *Graphene-based composites for drinking water treatment: strategy about PFAS removal.* - Zhenyuan Xia, forskare på material och tillverkning vid Chalmers.

Cirka 56 personer deltog digitalt via Zoom.

DRICKS-möte (2022-12-05)

Årets sista DRICKS-möte syftade till att lära känna DRICKS adjungerade professorer och lektorer närmre. Vad innebär det att vara adjungerad? Varför är man adjungerad och vad är nyttan? Hur kan samarbetet se ut mellan högskola och samhälle? Vilka projekt samarbetar de i? Vilka framtida utmaningar finns?

Lena Blom, adjungerade professor i motståndskraftiga VA-system vid Chalmers och Olof Bergstedt, adjungerad professor i tillämpad dricksvattenteknik vid Chalmers, resonerade kring frågorna och efteråt var det allmän frågestund. Initialt skulle även Alexander Keucken, adjungerad lektor i teknisk vattenresurs-lära vid Lunds universitet, presentera sig men han kunde i slutändan inte delta pga sjukdom.

Som mest deltog 33 personer i det digitala mötet.

Ytterligare konferenser

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

- SETAC Europe 32nd annual meeting, Köpenhamn – 15-19 maj
- IWA Water Safety Conference I Narvik – 22-24 juni
- IWA WWC&E i Köpenhamn – 11-15 september
- Miljöövervakningsdagarna i Umeå – 13-15 september
- Geological Society of America annual meeting, Denver – 9-12 oktober
- Nationella dricksvattenkonferensen i Visby – 12-14 oktober

Vattenforskar skolans årliga möte

Vattenforskar skolan, där cirka 80 (2022) doktorander ingår, arrangerar en gång om året en konferens och det här året stod Uppsala med VA-Mälardalen som värd. Det var många föreläsare under det två dagar långa mötet vilket var en stor skillnad mot de två tidigare pandemiåren då det endast gavs kortare online presentationer. Fokus under 2022 var att träffas i verkligheten och att öka diskussionen doktorander emellan om deras respektive forskning. En programpunkt i den riktningen var en postersession som avslutades med ett posterpris. DRICKS är en av parterna i Vattenforskar skolan och kommer att stå som värd för Vattenforskar skolans årliga möte i Göteborg 2023.

4.2 Vetenskaplig publicering, konferenser, möten, media

Under 2022 har forskningsresultat inom DRICKS publicerats i vetenskapliga artiklar i välrenommerade referee-granskade tidskrifter samt i ett antal tekniska rapporter, men även i form av muntliga presentationer, posterpresentationer och som posterbidrag. Både forskare verksamma inom DRICKS samt representanter från medlemskommuner och vattenverk har aktivt deltagit i flera olika nationella och internationella konferenser, webinarier och workshops under 2022.

Under året har tre licentiatavhandlingar publicerats inom DRICKS på följande teman:

- Gärtner N. (2022). Advancing the Implementation of Protective Measures for Drinking Water Sources in Sweden.

- Ohlin Saletti A. (2022). Risk-based management of the cost to society from infiltration and inflow to wastewater systems.
- Danielson M. (2022). Microbial monitoring of drinking water systems.

I kapitel 6 redovisas alla de publiceringar som genomförts inom DRICKS.

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

DRICKS-webben på www.dricks.se är vår plattform för information om organisationen och verksamheten, och landningsplats för nyheter om forskning och utbildning samt information om kommande aktiviteter i vår regi. Hemsidan syftar till att beskriva DRICKS genom att presentera en översiktlig bild av verksamheten och utgör vårt kontinuerliga skyltfönster mot våra intressenter samtidigt som den binder samman de tre lärosätena. Innehållet på hemsidan är av mer statisk karaktär, undantaget nyhets- och kalenderfunktionen. Via hemsidan tillgängliggörs också modeller och verktyg, exempelvis QMRA-modeller för mikrobiologisk riskbedömning och beslutsstödsverktyget WSIER.

Arbetet med hemsidan och dess innehåll är ett pågående arbete, både i fråga om utveckling av strukturen och om publicering av innehåll. I dagsläget är DRICKS-webben knuten till Chalmers centrala hemsida. Under 2022 initierades dock ett arbete med att skapa en ny hemsida för DRICKS som inte är knuten till Chalmers system. Syftet med detta är att få större frihetsgrader i hur innehållet utformas.

Nyhetsbrev

Nyhetsbrevet är vår kanal för att föra ut forskningsresultat och information av nyare karaktär och utgör en direktkanal till medlemmar och intressenter. Nyhetsbrevet syftar till att presentera både resultat och nya projekt, bjuda in till aktiviteter, skapa intresse för verksamheten och visa på samverkansmöjligheter såväl som att lyfta ny metodik och arbetssätt. DRICKS nyhetsbrev har en stark men stadig ökning i antalet prenumeranter inom dricksvattenproduktion, vilket ökar värdet och relevansen som kanal för att föra ut resultat samt information om nya tekniker, modeller m.m.

Facebook

Facebook-sidan DRICKS-W syftar till att utgöra kontaktyta och plattform för nätverksbyggande mellan följarna som utgörs av studenter, forskare/lärosäten och medlemmar som representerar branschen. Målet med DRICKS-W är att skapa ömsesidigt värde för studenter och verksamheter: att bidra till ansökningar som leder till rekryteringar inom exjobbsförslag, praktikplatser, jobb och

doktorandtjänster. Kommunikationsmålen är att följarna ska uppleva innehållet som relevant och intressant, samt att driva trafik till sidan för möjliga exjobb på dricks.chalmers.se.

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 Vattenforskaraskolan, 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 på både kandidat- och master-nivå i nära samverkan mellan forskning och praktik. Vi utbildar både högskoleingenjörer och civilingenjörer inom Samhällsbyggnadsteknik. På kandidatnivå 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 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 intresserade civilingenjören läser profilkurserna Vattenteknik och miljö, Hydrogeologi och geoteknik, Infrastruktur och 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. 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.

Vid Chalmers ges kurser som kopplar till dricksvatten och va-teknik samt riskbedömning och beslutsstöd. Kurserna ingår framför allt i Masterprogrammet *Infrastructure and Environmental Engineering*, men även några grundkurser med tydliga inslag av va-teknik redovisas nedan.

Dricksvattenteknik (BOM075)

Dricksvattenteknik i hela systemet behandlas i denna kurs, vilket delas in i tre delmoment; råvatten,

beredning och distribution. 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 distribution så genomför studenterna en dimensionering av ledningsnätet i ett nytt bostadsområde med hjälp av EPANet. Kursen är numera valfri i programmet och årligen läser ca 30-40 studenter (både svenska och internationella) denna kurs. Kursen har fått mycket bra kritik av studenterna samt från flera konsultföretag i Göteborg, som anställt nytutexaminerade civilingenjörer med VA-teknik som 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 ansvaret för fördjupningsblocket Uthålliga vatten- och avloppssystem (läsår 4 och 5) samt för följande dricksvattenrelevanta kurser:

Vattenresurstechnik, 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 samhällligt 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. Kursens syfte är också 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.

Distribution and treatment of drinking water, 5 hp (1TV447)

Kursen ges av Uppsala universitet i samarbete med SLU och samläses av civilingenjörer för miljö- och vattenteknik, hydrologer och det nya mastersprogrammet i vattenteknik. Kursens förmedlar grundläggande kunskap om råvattenkällor, dricksvattenkemi och metoder för dricksvattenberedning. I undervisningen ingår även flödesscheman för kommunala vattenverk, genomgång av vattenkemiska parametrar relevanta för Livsmedelverkets anvisningar, utformning av vattenledningsnät samt hydraulisk dimensionering av vattenledningsnät och avloppsledningsnät. Under projektarbetet diskuteras för- och nackdelar med barriärverkan samt miljöeffekter, allt baserat på nio olika realistiska förslag på Görvälns framtida vattenverk.

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.se. 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 samspelet och återkopplingar mellan vatten- och mänskliga system, från socialekologiska system till sociohydrologi.

Processreglering, 5 hp (1RT002)

Digital implementering av PID-regulatorn där hänsyn tas till praktiska aspekter såsom integratoruppridning, stötfri övergång mellan manuell och automatisk drift, börvärdesviktning, val av samplingshastighet, och approximering av derivatadeln för att minska brus känsligheten. 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 reservoarer genom användning av realtidsövervakning, automatiserad reglering, sensorer, fjärranalys samt Internet of Things. Digitaliseringsverktygen som ingår i kursen inkluderar maskininlärning, 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.

[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 (VVERF10)

Ger grundläggande strömningstekniska kunskaper som erfordras för analys och problemlösning inom några viktigare områden med vattenanknytning som en ekosystemtekniker 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

Vattenforskarskolan

Kurser och nätverksaktiviteter fortsätter i Vattenforskarskolan, med >80 doktorandstudenter från alla Svenskt vattens kluster. Catherine Paul (Lunds universitet) från DRICKS är studierektor och Thomas Petterson är med i forskarskolans styrgrupp som klusterrepresentant.

Under 2022 har vi haft några deltagare från VA-industrin på kurserna som en del i att göra Vattenforskarskolan ekonomiskt självförsörjande. De kurser som genomfördes under 2022 för både doktorander och andra var:

- Dagvatten (Luleå/Dag och Nät)
- Populärvetenskapligt skrivande (på svenska) för vattenforskare (Lunds universitet/ VA-Södra)
- Management i vattensektorn (Lunds universitet/ Sweden Water Research)
- Mikroföroreningar (Lunds universitet/ VA-Södra)
- Water Energy Nexus (Lunds universitet/ VA-Mälardalen)

5.2 Examensarbeten

Under 2022 har 17 studenter genomfört 11 examensarbeten och kandidatarbeten inom DRICKS olika delområden – från råvatten till tappkran. Här följer titlarna och författarna på de olika arbetena. Fullständig listning av examensarbetena återfinns i kapitlet 6.5.

- A Quantitative Microbial Risk Assessment Associated with Cross-Connections in the Drinking Water Network in Combination with Hydraulic Modeling. Alzuhairi F.
- Hydrodynamic and Eutrophication Modelling of Lake Vomb: Impact of Future Climate Change on Cyanobacteria. Elhabashy A.

- Health Risk Assessment of Pesticides in Drinking Water in South Africa. Engman M., Pettersson M.
- Characterization of *Escherichia* Strains Isolated from Marine Sediments. Lunds universitet. Erb I.
- En jämförelsestudie av modellverktygen MITgcm och MIKE 3 FM:s praktiska användning inom Norrvattens verksamhet vid modellering av Mälaren. Gudmundsson S., Gulz A., Johansson A., Nedergård T., Niskakari L., Sjöström A.
- A Risk Assessment Framework to Evaluate the Effect of Climate Change on Drinking Water Quality. Uppsala universitet. Gusain S.
- Hydrodynamic Modelling of Spread of Perfluoroalkyl Octanoic Sulphonate and Perfluoroalkyl Hexanoic Sulphonate in Lake Ekoln. Prajapati P.
- Hydraulic Modeling and Quantitative Microbial Risk Assessment of Intrusion in Water Distribution Networks Under Sustained Low-Pressure Situations. Shakibi M.
- Analys av regnvatteninsamling och dess effekt på föroreningsbelastning och vattenbesparing i nya Sydöstra Stadsdelarna, Uppsala. Stenlund E.
- Risk analysis of climate change impacts on the quantitative drinking water supply. Starcevic I.
- Algorithms for Water Quality – Detection of Sewage in Drinking Water using the Electronic Tongue. Westerberg O.

6. Referenser

I detta kapitel redovisas alla publikationer som producerats inom DRICKS under 2022 – från vetenskapliga artiklar, forskningsrapporter och doktorsavhandlingar till populärvetenskapliga artiklar.

6.1 Vetenskapliga publikationer

Berggren M., Guillemette F., Bierozza M., Buffam I., Deininger A., Hawkes J.A., Kothawala D.N., LaBrie R., Lapierre J.-F., Murphy K.R., Al-Kharusi E.S., Rulli M.P.D., Hensgens G., Younes H., Wünsch U.J. (2022). Unified understanding of intrinsic and extrinsic controls of dissolved organic carbon reactivity in aquatic ecosystems. *Ecology* 103(9), e3763.

<https://doi.org/10.1002/ecy.3763>

Celma A., Gago-Ferrerro P., Golovko O., Hernández F., Lai F.Y., Lundqvist J., Menger F., Sancho J.V., Wiberg K., Ahrens L., Bijlsma L. (2022). Are preserved coastal water bodies in Spanish Mediterranean 1 basin impacted by human activity? Water quality evaluation using chemical and biological analyses. *Environment International*, 165:107326, <https://doi.org/10.1016/j.envint.2022.107326>

Coria J., Kristiansson E., Gustavsson M. (2022) Economic interests cloud hazard reductions in the European regulation of substances of very high concern, *Nature Communications*, 13:1:6686.

Figuière R., Waara S., Ahrens L., Golovko O. (2022). Risk-based screening for prioritization of organic micropollutants in Swedish freshwater. *J. Hazard. Mater.*, 429, 128302.

<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.128302>

Gustavsson M., Molander S., Backhaus T., Kristiansson E. (2022) Estimating the release of chemical substances from consumer products, textiles and pharmaceuticals to wastewater, *Chemosphere*, 287:131854.

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>

Hanson B., Wünsch U., Buckley S., Fischer S., Leresche F., Murphy K., D'Andrilli J., Rosario-Ortiz F.L. (in press). (2022) DOM Molecular Weight Fractionation and Fluorescence Quantum Yield Assessment Using a Coupled In-Line SEC Optical Property System. *ACS ES&T Water*.

<https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsestwater.2c00318>

Johanson G., Gyllenhammar I., Ekstrand C., Pyko A., Xu Y, Li Y, Norström K. Lilja K., Lindh C., Benskin J., Georgelis A., Forsell K., Jakobsson K., Glynn A., Vogs C. (2022). Quantitative relationships of perfluoroalkyl acids in drinking water associated with serum concentrations above background in adults living near contamination hotspots in Sweden. *Environ Res.*, 219, 115024.

<https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.115024>

Malnes D., Ahrens L., Köhler S., Forsberg M., Golovko O. (2022). Occurrence and mass flows of contaminants of emerging concern (CECs) in Sweden's three largest lakes and associated rivers. *Chemosphere*, 294, 133825.

<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.133825>

McCleaf P., Stefansson W., Ahrens L. (2023). Drinking water nanofiltration with concentrate foam fractionation—A novel approach for removal of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS). *Water Res.*, 232, 119688.

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

Ngubane Z., Bergion V., Dzwario B., Troell K., Amoah I.D., Stenström T.A., Sokolova E. (2022). Water quality modelling and quantitative microbial risk assessment for uMsunduzi River in South Africa. *Journal of Water and Health* 20 (4): 641–656.

<https://doi.org/10.2166/wh.2022.266>

Nguyen M.A., Norström K., Wiberg K., Gustavsson J., Josefsson S., Ahrens L. (2022). Seasonal trends of per- and polyfluoroalkyl substances in river water affected by fire training sites and wastewater treatment plants. *Chemosphere*, 308(3):136467.

<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.136467>

Niarchos G., Ahrens L., Berggren Kleja D., Fagerlund F. (2022) Per- and polyfluoroalkyl substance (PFAS) retention by colloidal activated carbon (CAC) using dynamic column experiments. *Environmental Pollution*, 308:119667.

<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119667>

Nyström J., Benskin J.P., Plassmann M., Sandblom O., Glynn A., Lampa E., Gyllenhammar I., Moraeus L., Lignell S. (2022). Demographic, life-style and physiological determinants of serum per- and polyfluoroalkyl substance (PFAS) concentrations in a national cross-sectional survey of Swedish adolescents. *Environmental Research*, 208:112674.

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34998808/>

Nyström J., Benskin J.P., Plassmann M., Sandblom O., Glynn A., Lampa E., Gyllenhammar I., Moraeus L., Lignell S. (2022). Healthy eating index and diet diversity score as determinants of serum perfluoroalkyl acid (PFAA) concentrations in a national survey of Swedish adolescents. *Environmental Research*, 212:113170.

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35339470/>

Oskarsson A., Lundqvist J. (2022). Effektbaserade analysmetoder för övervakning av kemiska föroreningar i dricksvatten. Tidskriften Vatten.

<https://www.tidskriftenvatten.se/tsv-artikel/effektbaserade-analysmetoder-for-overvakning-av-kemiska-foro-reningar-i-dricks-vatten/>

Philibert M., Luo S., Moussanas L., Yuan Q., Filloux E., Zraick F., Murphy KR. (2022). Drinking water

aromaticity and treatability is predicted by dissolved organic matter fluorescence. *Water Research* 220:118592

<https://doi.org/10.1016/j.watres.2022.118592>

Saguti F., Churqui M.P., Kjellberg I., Wang H., Ottoson J., Paul C., Bergstedt O., Norder H., Nyström K. (2022). The UV Dose Used for Disinfection of Drinking Water in Sweden Inadequately Inactivates Enteric Virus with Double-Stranded Genomes. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(14), p.8669.

<https://api.semanticscholar.org/CorpusID:250663278>

Sköld, N.-P., Bergion, V., Lindhe, A., Keucken, A., & Rosén, L. (2022). Risk-Based Evaluation of Improvements in Drinking Water Treatment Using Cost-Benefit Analysis. *Water*, 14(5).

<https://doi.org/10.3390/w14050782>

Smith S.J., Wiberg K., McCleaf P., Ahrens L., (2022). Pilot-scale continuous foam fractionation for the removal of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) from landfill leachate, *Environmental Science & Technology: Water*

<https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsestwater.2c00032>

Sokolova, E., Ivarsson, O., Lillieström, A., Speicher, N. K., Rydberg, H., Bondelind, M. (2022) Data-driven models for predicting microbial water quality in the drinking water source using E. coli monitoring and hydrometeorological data, *Science of The Total Environment*, Volume 802, 149798,

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149798>.

Söregård M., Kicuchi J., Wiberg K., Ahrens L. (2022). Spatial distribution and load of per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs) in background soils in Sweden, *Chemosphere*, 133944.

<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.133944>

Söregård M., Travar I., Kleja D.B., Ahrens L. (2022). Fly ash-based waste for ex-situ landfill stabilization of per- and polyfluoroalkyl substance (PFAS)- contaminated soil. *Chemical Engineering Journal Advances*.

<https://api.semanticscholar.org/CorpusID:251142895>

Suarez C., Dalcin Martins P., Jetten M.S., Karačić S., Wilén B.M., Modin O., Hagelia P., Hermansson M., Persson F. (2022). Metagenomic evidence of a novel family of anammox bacteria in a subsea environment. *Environmental Microbiology*.

<https://doi.org/10.1111/1462-2920.16006>

Söregård S., Bergström S., McCleaf P., Wiberg K., Ahrens L. (2022). Long distance transport of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) in a Swedish drinking water aquifer. *Environmental Pollution*, 119981.

<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119981>

Viñas V., Sokolova E., Malm A., Bergstedt O., Pettersson T. (2022). Cross-connections in drinking water distribution networks: Quantitative microbial risk assessment in combination with fault tree

analysis and hydraulic modelling. *Science of the Total Environment* 831 (154874)
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154874>

Westerberg O. (2022) Algorithms for Water Quality – Detection of Sewage in Drinking Water using the Electronic Tongue. LITH-IFM-A-EX-22/4087-SE, Linköping University.

Yu M., Mapuskar S., Lavonen E., Oskarsson A., McCleaf P., Lundqvist J. (2022). Artificial Infiltration in drinking water production: Addressing chemical hazards using effect-based methods. *Water Research*, 221, 118776.
<https://doi.org/10.1016/j.watres.2022.118776>

6.2 Konferensartiklar och andra konferensbidrag (muntliga såväl som posterpresentationer)

Eriksson M., Winqvist F., Pettersson T., Lindgren D., Rodhe B., Ohlson Timoudas T., Stavkling H., Nordenberg J., Sigmundsson T. Real-time Drinking Water Quality Monitoring of A Distribution System with Electrochemical Sensors. Water Safety Conference 2022, Narvik, Norway, June 22 – 24, 2022.

Glynn A., Vogs C., Johanson G., Gyllenhammar I., Ekstrand C., Georgelis A., Forsell K., Jakobsson K. (2022). Dricksvatten som källa för PFAS-exponering. Går det att modellera PFAS-halter i blod från uppmätta halter i dricksvatten? Miljöövervakningsdagarna Umeå 13-15 september.

Gärtner N., Lindhe A. Socio-economic patterns of drinking water consumers in the Gothenburg Region – Spatial data analysis of characteristics, and geological risks. GSA Connects 2022, Denver. Geological Society of America Abstracts with Programs, v. 54, no. 5. 2022.
<https://doi.org/10.1130/abs/2022AM-382958>

Johanson G., Gyllenhammar I., Ekstrand C., Pyko A., Xu Y, Li Y, Norström K. Lilja K., Lindh C., Benskin J., Georgelis A., Forsell K., Jakobsson K., Glynn A., Vogs C. (2022). Relations between concentrations of perfluoroalkyl substances (PFAS) in drinking water and serum in adults living near hotspots. Environ Health Perspect., ISEE Conference abstracts, volume 2022.
<https://ehp.niehs.nih.gov/doi/10.1289/isee.2022.O-OP-183>

Lindblad S., Lundqvist J., Wiberg K., Ahrens L. Identification of toxic drivers in water using Effect-Directed Analysis. SETAC Europe 32nd annual meeting, Copenhagen, Denmark, May 15-19, 2022.

Lindhe A., Rosén L. Evaluating managed aquifer recharge based on water supply security, risk, and sustainability – Palla Road aquifer, Botswana. GSA Connects 2022, Denver. Geological Society of America Abstracts with Programs, v. 54, no. 5. 2022.
<https://doi.org/10.1130/abs/2022AM-377373>

Ngubane Z., Bergion V., Sokolova E. Risk posed by the uMsunduzi River in South Africa to consumers health. Water Safety Conference 2022, 22-24 June, Narvik, Norway.

Pettersson, T.J.R., Svärd, E., Andersson, E. (2022). Health Risk Assessment of Pharmaceuticals In Drinking Water. In proc. IWA-WHO Water Safety Conference, 22-24 June 2022, Narvik, Norway.

Sokolova E., Bergion V., Samuelsson A., Östberg E., Bondelind M. Modelling impacts of climate change and socioeconomic development on the microbial water quality. Water Safety Conference 2022, 22-24 June, Narvik, Norway.

Sokolova E., Ivarsson O., Lillieström A., Speicher N.K., Rydberg H., Bondelind M. Data-driven models for predicting microbial water quality in the drinking water source. Water Safety Conference 2022, 22-24 June, Narvik, Norway.

6.3 Doktors- och licentiatavhandlingar

Gärtner N. (2022). Advancing the Implementation of Protective Measures for Drinking Water Sources in Sweden. Licentiatavhandling, Chalmers tekniska högskola.

<https://research.chalmers.se/publication/533320>

Ohlin Saletti A. (2022). Risk-based management of the cost to society from infiltration and inflow to wastewater systems. Licentiatavhandling, Chalmers tekniska högskola.

<https://research.chalmers.se/publication/530358>

Danielson M. (2022). Microbial monitoring of drinking water systems. Licentiatavhandling, Lunds universitet.

6.4 Rapporter

Bruks S., Andersson P., Franke V., Wiberg K. (2022) Methods for early identification of chemicals that have the potential to harm human health or the environment. The Toxicological Council, Research report 1/2021.

<https://www.kemi.se/om-kemikalieinspektionen/organisation/toxikologiska-radet>

Danielsson M., Holmer L., Hellström D., Schleich C., Keucken A., Barup J., Meyer-Lind M., Chan S., Rosenqvist T., J. Paul C., Rådström P. (2022) Mikrobiologisk analys för biostabilt dricksvatten: Ledningsnät, vattentorn och monokloramin. Svenskt Vatten Utveckling Rapport: 2022-09.

<https://vattenbokhandeln.svenskvatten.se/produkt/mikrobiologisk-analys-for-biostabilt-dricksvatten/>

Glynn A., Vogs C., Johanson G., Gyllenhammar I., Ekstrand C., Georgelis A., Forsell K., Jakobsson K. (2022). PFAS i blodmodellering av exponering via dricksvatten. Rapport till Naturvårdsverket.

<http://naturvardsverket.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2:1651713>

Golovko O., Fredriksson F., Larsson P., Yuen N.T.C., Yeung L., Ahrens L., Wiberg K., Kärrman A. (2022) Spread of organic micropollutants and per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) to farmlands when irrigated with municipality wastewater. Rapport till Naturvårdsverket, överenskommelse NV-05424-21/05418-21.

<https://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2:1670777>

Lindhe A., Bergion V., Rosen L., Lång L-O. (2022) Utvärdering av statsstödet för bättre vattenhushållning: Enkätstudie av genomförda projekt 2019 och 2020.

https://research.chalmers.se/publication/530343/file/530343_Fulltext.pdf

Lindhe A., Rosen L., Grabo L., Soutukorva Swanberg Å., Nordzell H. (2022) Användningen av MACRO-DB i tillståndsärenden och effekter av ny modellversion: Enkätstudie och samhällsekonomisk analys av arbetet med MACRO-DB.

https://research.chalmers.se/publication/530344/file/530344_Fulltext.pdf

Menger F., Wiberg K., Eriksson E., Forsberg M., Malnes D., Golovko O. (2022) Review and analysis of persistent mobile organic contaminants (PMOCs) substances in water. Report to the Swedish Environmental Protection Agency, överenskommelse 219-20-009, ärendenr NV-08187-20.

Näslund T.I., Anttila S., Bring A., Åberg C. Expert group: Breitholtz M., Almroth B.C., Larsson J., Wiberg K. Co-opted Bernt Björleinius. (2022) Svenskt kommunalt avloppsvatten och dess påverkan på vattenlevande organismer - en systematisk översikt. *Formas*. Report: F1:2022, ISBN: 978-91-540-6162-4.

<https://formas.se/download/18.2cc73a1217f446fdb99895c/1649061134154/f1-2022-svenskt-kommunalt-avloppsvatten-vattenlevande-organismer.pdf>

Takman M., Cimbritz M., Davidsson Å., J. Paul C., Svahn O., Blomqvist S. (2022) Återanvändning av renat avloppsvatten. Potential efter rening med en membranbioreaktor följt av granulerat aktivt kol. Svenskt Vatten Utveckling Rapport: 2022-14. Tillgängligt våren 2023 hos Svenskt Vattens Vattenbokhandeln.

6.5 Examensarbeten

Alzuhairi F. (2022) A Quantitative Microbial Risk Assessment Associated with Cross-Connections in the Drinking Water Network in Combination with Hydraulic Modeling. Uppsala universitet.

<http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:uu:diva-478054>

Elhabashy A. (2022) Hydrodynamic and Eutrophication Modelling of Lake Vomb: Impact of Future Climate Change on Cyanobacteria. Uppsala universitet.

<http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:uu:diva-478324>

Engman M., Pettersson M. (2022). Health Risk Assessment of Pesticides in Drinking Water in South Africa, Master thesis report, Dept. of Architecture and Civil Engineering, Chalmers University of Technology. <https://odr.chalmers.se/items/5b11c6cd-6b76-4ded-8896-276906143305>

Erb I. (2022) Characterization of *Escherichia* Strains Isolated from Marine Sediments. Lunds universitet.

Gudmundsson S., Gulz A., Johansson A., Nedergård T., Niskakari L., Sjöström A. (2022) En jämförelsestudie av modellverktygen MITgcm och MIKE 3 FM:s praktiska användning inom Norrvattens verksamhet vid modellering av Mälaren. Uppsala universitet.

<http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:uu:diva-475466>

Gusain S. (2022) A Risk Assessment Framework to Evaluate the Effect of Climate Change on Drinking Water Quality. Uppsala universitet.

<http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:uu:diva-486512>

Prajapati P. (2022) Hydrodynamic Modelling of Spread of Perfluoroalkyl Octanoic Sulphonate and Perfluoroalkyl Hexanoic Sulphonate in Lake Ekoln. Uppsala universitet.

<http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:uu:diva-478645>

Shakibi M. (2022) Hydraulic Modeling and Quantitative Microbial Risk Assessment of Intrusion in Water Distribution Networks Under Sustained Low-Pressure Situations. Uppsala universitet.

<http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:uu:diva-478421>

Stenlund E. (2022) Analys av regnvatteninsamling och dess effekt på föroreningsbelastning och vattenbesparing i nya Sydöstra Stadsdelarna, Uppsala. Uppsala universitet.

<http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:uu:diva-477045>

Starcevic I. (2022) Risk analysis of climate change impacts on the quantitative drinking water supply. Master thesis report, Dept. of Architecture and Civil Engineering, Chalmers University of Technology.

<https://odr.chalmers.se/items/f8757da3-f4f4-4312-9d7b-8468892e173c>

Westerberg O. (2022) Algorithms for Water Quality – Detection of Sewage in Drinking Water using the Electronic Tongue. Linköpings universitet.

<http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:liu:diva-189991>