Verksamhetsberättelse för

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

DRICKS 2021

Sammanfattning

År 2021 har rent organisatoriskt varit ett speciellt år för DRICKS, då år 2021 ensamt utgjorde en ettårig programperiod, som samtidigt har fungerat som en förlängning av föregående treårsperiod och övergång till den nästkommande. Syftet är att DRICKS programperioder från år 2022 blir synkroniserade med övriga VA-kluster som finansieras av Svenskt Vatten, vilket kommer underlätta både administration och samverkan. Vi kan nu i slutet av året se tillbaka på en fyraårsperiod som präglats av framsteg och omställningar inom nätverket. Forskningen leds av de tre medlemsuniversiteten Chalmers, SLU och Lunds universitet, och sker i nära samarbete med branschen. Under 2021 har elva medlemsorganisationer, kommunala vattenproducenter, förnyat sitt medlemskap i DRICKS. Forskningen baserad på SVUs finansiering inom DRICKS är till stor del uppdelad i fem arbetspaket inom vilka olika projekt och fallstudier äger rum, där AP1-4 är en fortsättning av föregående programperiod, och AP2021 fungerat för att identifiera och starta upp nya forskningsprojekt.

- AP1 - Beslutsstöd för framtida utmaningar
- AP2 - Hållbar drift av distributionsnät för säker vattenkvalitet
- AP3 - Förekomst av kemiska ämnen och barriärverkan
- AP4 - Biofilter och mikrobiologiska barriärer
- AP2021 - Nya satsningar inom DRICKS

Under 2021 har forskningen inom DRICKS fortsatt kunnat bedrivas i stort sett oförändrat trots den pågående coronapandemin och sammanträden som seminarier, evenemang och möten har fortsatt ske i digitalt format. En stor del av året har präglats av arbetet med ansökan för kommande programperiod. Arbetet påbörjades under det digitala internatet i januari, där idéer till kommande projekt och utmaningar togs fram i ett interaktivt format. Arbetet fortskred sedan under lednings-, styr- och beredningsgruppsmöten och för enskilda forskare, fram till deadline i oktober. Under året har arbetet inom AP1-4 och AP2021 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 vattenåteranvänding i fullskala.

För att nå ut med forskningsresultat till branschen och andra forskare anordnar DRICKS olika möten och evenemang. Under 2021 arrangerades en workshop kring biostabilitet och AOC-mätningar, och två seminarier på temat beslutsstöd för framtida utmaningar, och oönskade ämnen i dricksvattnet. Under 2021 har även den nystartade Företagsgruppen körts som en pilot, för att bli en officiell del av DRICKS under 2022. DRICKS har deltagit i externt anordnade möten och konferenser för att sprida kunskap. En del forskningsresultat har uppmärksammats i media**.** Under 2021 presenterades 5 doktorsavhandlingar inom DRICKS. Dessutom har 16 studenter genomfört 12 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 tre medlemsuniversiteten har gett många kurser med koppling till vattenfrågor där målsättningen är att få fler studenter att välja VA-inriktning.

Innehållsförteckning

Sammanfattning 1

Innehållsförteckning 3

1. Bakgrund 5

2. Projektprogrammet DRICKS 6

2.1 DRICKS integrerade projektbeskrivning 6

2.2 Forskningsledare och forskarstuderande 7

2.3 Samverkan med branschen 7

2.4 Användning av Svenskt Vattens medel 9

3. Forskningsresultat 10

3.1 Beslutsstöd för framtida utmaningar (AP1) 10

3.2 Hållbar drift av distributionsnät för säker vattenkvalitet (AP2) 13

3.3 Förekomst av kemiska ämnen och barriärverkan (AP3) 17

3.4 Biofilter och mikrobiologiska barriärer (AP4) 21

3.5 Arbetspaket 2021 – nya satsningar (AP2021) 30

4. Kommunikation och publicering (AP5) 38

4.1 DRICKS-seminarier & arrangemang 38

DRICKS-internat 2021 38

DRICKS workshops/seminarium 38

DRICKS-möten 39

Ytterligare konferenser 40

DRICKS Examensarbetsförslag och studentträffar 40

Vattenforskarskolans årliga möte 40

4.2 Vetenskaplig publicering, konferenser, möten, media 40

4.3 DRICKS hemsida och nyhetsbrev 41

Hemsida 41

Nyhetsbrev 42

Facebook 42

Övrigt 42

5. Undervisning kopplad till DRICKS 43

5.1 VA-kurser och kursutveckling 43

Kurser vid Chalmers 43

Kurser vid SLU 45

Kurser vid Lunds universitet 46
Vattenforskarskolan 48
5.2 Examensarbeten 48
6. Referenser 50
6.1 Vetenskapliga publikationer 50
6.2 Konferensartiklar och andra konferensbidrag (muntliga såväl som posterpresentationer) 52
6.3 Doktors- och licentiatavhandlingar 53
6.4 Rapporter 53
6.5 Examensarbeten 54

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 finansiärer som bidragit med finansiering och hur de övergripande arbetspaketen samverkar för att täcka de delområden som DRICKS i tidigare program delat in dricksvattenområdet i.

2.1 DRICKS integrerade projektbeskrivning

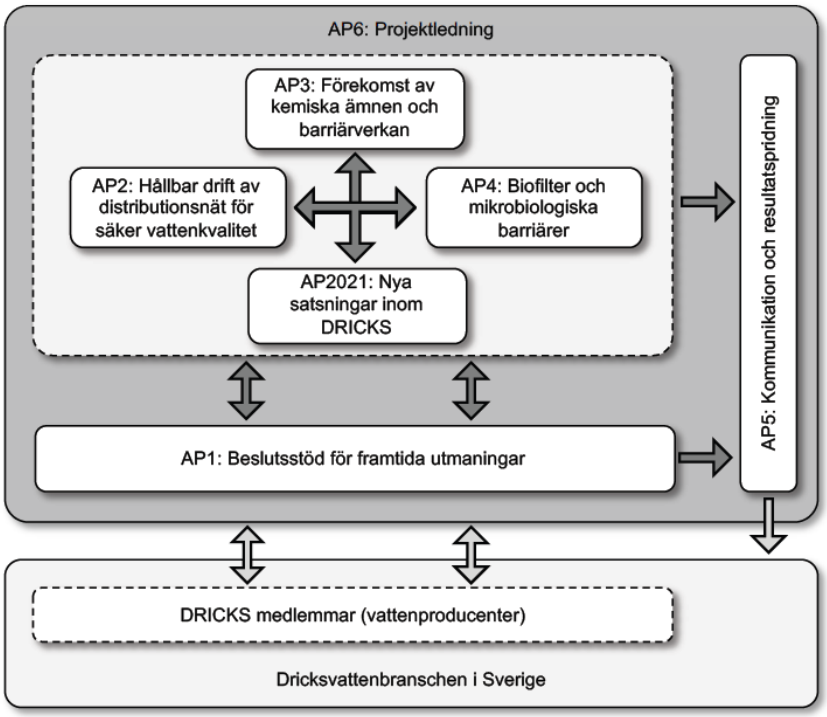
För DRICKS innebar år 2021 en ettårig programperiod, för att Svenskt Vatten beslutat synkronisera programperiodernas startår för alla fyra svenska va-kluster. Ironiskt nog så var det första arbetet som genomfördes inom DRICKS under 2021 att påbörja ansökningsprocessen för nästkommande treåriga programperiod 2022-2024, vilket påbörjades vid DRICKS-internatet 13-14 januari 2021. På grund av Corona-pandemin fick DRICKS-internatet 2021 genomföras digitalt under två halvdagar, där samtliga forskare och medlemsorganisationer deltog.

Ansökningsprocessen som låg till grund för projektbeskrivningen för detta ettåriga DRICKS-program 2021 inleddes under DRICKS-internatet 16-17 januari 2020, vilket genomfördes fysiskt i Loviken, Stockholm. Samtliga deltagare delades in i arbetsgrupper där varje grupp arbetade fram en lista med de viktigaste utmaningarna som gruppen ansåg att dricksvattenbranschen står inför. Under internatet arbetades flera konkreta projektförslag fram, vilka DRICKS ledningsgrupp senare bearbetade och prioriterade bland, och där ett programförslag presenterades för DRICKS forskare samt både beredningsgrupp och styrgrupp under våren 2021. Programförslaget bestod av en bearbetning av de fyra arbetspaketen (AP1-4) från föregående programperiod (2018-2020), vilka delvis fyllts på med nya projekt/komponenter, samt ett helt nytt arbetspaket, AP2021 (se Figur 1). Programförslaget förankrades vidare i en process med Svenskt Vattens fackkommittéer under våren 2020. De fyra arbetspaket som utgjort kärnan i DRICKS under programperioden 2021 är följande:

- AP1 – *Beslutsstöd för framtida utmaningar*
- AP2 – *Hållbar drift av distributionsnät för säker vattenkvalitet*
- AP3 – *Förekomst av kemiska ämnen och barriärverkan*
- AP4 – *Biofilter och mikrobiologiska barriärer*
- AP2021 – *Nya satsningar inom DRICKS under år 2021*

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

I Figur 1 illustreras relationen mellan de olika arbetspaketen. AP6 kan ses som ramen för genomförandet av allt arbete och AP5 innehåller bland annat strategier för hur de resultat och kunskap som arbetas fram på ett bra sätt kan spridas till branschen. AP2-4 och AP2021 är fokuserade på att öka kunskapen om aktuella problem och analysera effekten av möjliga åtgärds- eller handlingsalternativ. Det finns en direkt koppling mellan dessa arbetspaket, exempelvis att samma del av systemet analyseras eller att samma kvalitetsparameter studeras. AP1 är fokuserat på att utveckla beslutstödsmodeller och ett viktigt underlag till detta arbete är resultaten från AP2-4 och AP2021.



Figur 1. Illustration av kopplingen mellan arbetspaketen (AP) i ansökan samt DRICKS medlemmar och dricksvattenbranschen som helhet.

2.2 Forskningsledare och forskarstuderande

Under programperioden 2021 har flera forskare och externa personer varit aktiva inom DRICKS. Vi har arbetat aktivt inom samtliga delområden *från källa till tappkran* men har även ökat samverkan med branschen genom ett större utbyte mellan medlemmar i projekt och fallstudier. Samarbetet med DRICKS medlemsorganisationer beskrivs i avsnitt 2.3 nedan, samt i kapitel 3.

Föreståndare för DRICKS är Thomas Pettersson och vice föreståndare är Andreas Lindhe. DRICKS koordinator Moa Persson slutade i augusti 2021 och ersattes i november av Emma Eles Bohlin.

2.3 Samverkan med branschen

Inom DRICKS har vi sedan starten 2003 haft ett nära och produktivt samarbete med dricksvatten-branschen. Under 2021 hade DRICKS 11 medlemsorganisationer. Merparten av projektsamarbetena har under året genomförts i de fem arbetspaketen, där flera fallstudier påbörjats vilka flertalet kommer avslutas under 2022.

Här följer några exempel på samverkan mellan DRICKS forskare, medlemmar och branschen i övrigt:

Lunds universitet har i samverkan med Kommunalförbundet Norrvatten, Stockholm Vatten och Avfall (SVOA), Sydvatten AB, Sweden Water Research AB (SWR), VA SYD, Vatten & Miljö i Väst AB (Vivab) fortsatt att studera biostabilitet och dricksvattendistributionen i Stockholm, Lund och Varberg. Projektet SVU 19-102 med finansiering från nämnda dricksvattenproducenter och SVU syftar också till att värdera automatisk mikrobiologisk ATP-, FCM- och partikelanalys.

Under några år har Lunds universitet tillsammans med Sydvatten utforskat mikrobiella ekosystem i långsamfilter. Doktorandprojektet med finansiering från Formas fortsätter (tillsammans med

Sydvatten, SVOA, Tekniska Verken, Jönköping, Nodra och Trollhättan). 2021 påbörjades en stor fallstudie inom DRICKS tillsammans med Trollhättan med syfte att utforska påverkan av ozon på mikrobiella ekosystem i en pilotskala långsamfilter med djup detaljerade metagnomik DNA sekvensering. Projektet leds av Lunds universitet.

Lunds universitet och Totalförsvarets forskningsinstitut (FOI) i Umeå har samarbete med både VIVAB, Sydvatten och VASYD för att: studera biofilmens anpassning till ett monokloraminfritt dricksvatten (VIVAB) och i byggnader placerade på olika avstånd från vattenverket (Sydvatten/VASYD) med avancerad dna-verktyg. I Varberg var den kraftfulla biofilmsresponsen oväntad och en prövning för Vivab som noggrant och metodiskt följde responsen. Att även måttliga mängder monokloramin så tydligt selekterade oönskade bakterier på bekostnad av goda bakterier kommer att bidra till ifrågasättandet av monokloramin.

En stor provtagningskampanj har varit igång i ett projekt som leds av Göteborg Universitet med stöd genom DRICKS och Lunds universitet. Här körs samarbeten med 6 producenter (Sydvatten, Nodra, Norrvatten, VIVAB, Kretslopp och Vatten Göteborgs stad och SVOA) för att beskriva hur UV-doseringen och andra beredningssteg kan påverka logreduktion av virus i lab- och fullskala.

Norrvatten, SLU och LU har genomfört ett pilotskaleförsök på Görvälnverket där kombinationen av ozonering och GAK studeras i detalj med avseende på DOC, organiska spårämnen (läkemedel m.m.) och flödescytometri. En Norrvattenrapport har författats, en vetenskaplig artikel har publicerats (Ullberg et al 2021) och ytterligare två artiklar (en inskickad) och ett manus ingår i doktoranden Malin Ullbergs avhandling (disputation 8 april 2022).

Doktoranden Rikard Tröger (SLU) har disputerat på avhandlingen *"Occurrence and removal of organic micropollutants in drinking water: analytical approaches for wide-scope screening of contaminants of emerging concern*. Rikard har samarbetat med flera svenska vattenverk och studerat förekomst och rening av organiska miljöföroreningar, framför allt i Görvälnverket och i vattenverk som använder Göta Älv som drickvattenkälla, men han har även utfört en internationell studie där data från Görvälnverket ingår (beskrivs under AP3).

En stor undersökning av förekomst av läkemedel och andra oönskade organiska spårämnen i de tre stora sjöarna i Sverige (Vänern, Vättern och Mälaren) samt deras tillrinnande vatten har genomförts av SLU i samarbete med ett EU-Life projekt, länsstyrelser, vattenvårdsförbund, m.fl. I studien ingick analyser av ingående/utgående vatten från ett stort antal reningsverk samt dricksvattenverk. Sammantaget har studien gett en bra bild över detektionsfrekvens och halter av ett stort antal oönskade ämnen i dessa nationellt viktiga vattentäkter. En rapport har författats (Malnes et al 2021) och ett vetenskapligt manus har skickats i väg för granskning.

SLU har inlett ett projekt tillsammans med Uppsala Vatten och Norrvatten där risker för kemiska ämnen studeras. Syftet är att testa tillämpbarheten av ett verktyg för ranking av kemiska hälsorisker (Risktermometern) som ett prioriteringsverktyg för åtgärder mot oönskade kemiska ämnen i dricksvatten. Målet är att efter projektets avslut ha testat den nuvarande versionen av Risktermometern med hjälp av uppmätta halter av oönskade ämnen (ca 80 ämnen). Under 2021 har en databas med haltdata från 3 vattenverk (Görväln, Bäcklösa och Gränby vattenverk) som omfattar både reglerade och oreglerade oönskade ämnen upprättats.

Under 2021 har forskare från Chalmers samarbetat med Kretslopp och Vatten Göteborgs stad kring att utveckla data-baserade modeller för att förutsäga den mikrobiella vattenkvaliteten vid råvattenintaget.

2.4 Användning av Svenskt Vattens medel

Under 2021 har Svenskt Vatten Utveckling (SVU) finansierat DRICKS med 2 200 kkr, fördelat på Chalmers 600 kkr (varav 50 kkr till Linköpings univ.), SLU 350 kkr och Lunds universitet 350 kkr, samt gemensamma projekt- och administrationskostnader på 900 kkr.

De kostnader som DRICKS haft under 2021 har uppgått till 2228 kkr (med samma fördelning mellan universiteten som i budget). Av de totala programkostnaderna (2228 kkr) under 2021 utgör overhead-kostnaderna (568 kkr) ca 25%. Finansiering för andra tydligt dricksvattenrelaterade projekt som genomförts vid de tre universiteten under 2021, med finansiering av övriga finansiärer (forskningsråd, kommuner, statliga myndigheter, institut och universitet mm) uppgår totalt till drygt 15 Mkr, vilket ger en betydande uppväxling av DRICKS kostnader under året. En mer detaljerad ekonomisk redovisning av kostnaderna under 2021 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 arbetspaketen under 2021.

3.1 Beslutsstöd för framtida utmaningar (AP1)

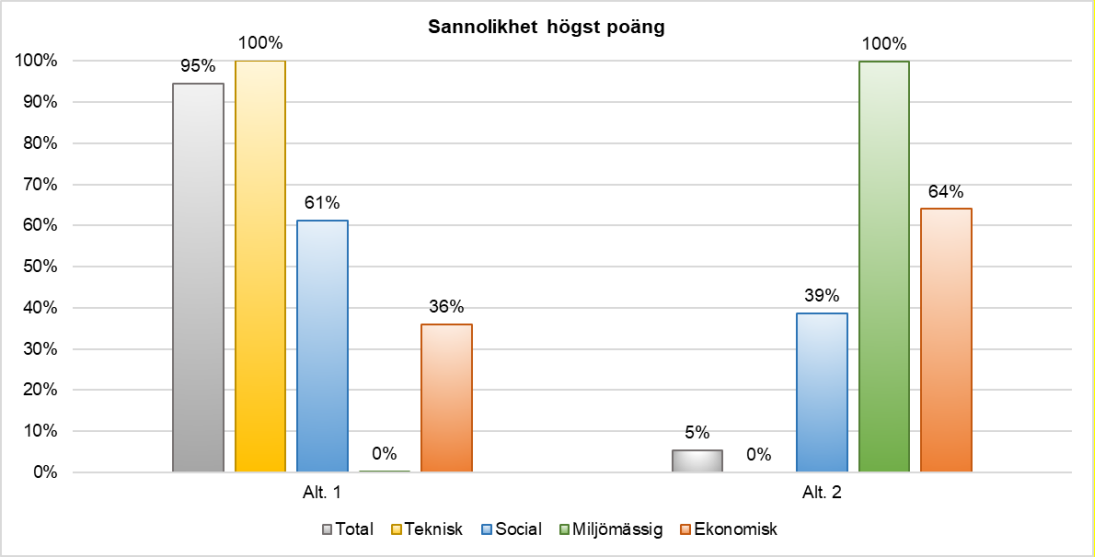
Inom AP1 har arbetet bland annat varit att fokusera på vidareutvecklingen och tillämpningen av beslutsstödsverktyget WISER (Water Investments for Sustainability Enhancement and Reliability). Detta arbete beskrivs mer ingående nedan och är kopplat till tre av arbetspaketets komponenter (1.1 Kartläggning av alternativa sätt att genomföra multikriterieanalys som är tillämpbara inom dricksvattenområdet; 1.2 Anpassning av befintligt verktyg för multikriterieanalys för att möjliggöra olika typer av utvärderingar; 1.3 Tillämpning och test av uppdaterat verktyg). En fjärde komponent i arbetspaketet (1.4 Kartläggning av vattenbristproblem och åtgärder) skulle genomföras som ett examensarbete men då ingen student kunde rekryteras fokuserades arbetet istället på hur leveranssäkerheten kan utvärderas i ett dricksvattensystem och åtgärder utvärderas. Beslutsstödsrelaterade projekt och aktiviteter har även genomförts inom projekten WaterPlan och InfraMaint. Arbetet och huvudresultaten från de olika komponenterna och projekten beskrivs mer ingående nedan.

WISER

I arbetet med att säkra och trygga den framtida dricksvattenförsörjningen fattas många beslut om allt från strategiska investeringar för att trygga den framtida råvattentillgång till mindre förändringar i beredning och distribution. För att ge stöttning i olika beslutsproblem där åtgärdsalternativ ska utvärderas och prioriteras har ett beslutsstödsverktyg utvecklats inom DRICKS. Verktyget benämns WISER (*Water Investments for Sustainability Enhancement and Reliability*) och bygger på så kallad multikriterieanalys. Detta innebär att man i verktyget väljer ut kriterier som beskriver vilka aspekter som är avgörande när man jämför och utvärderar åtgärderna. Åtgärderna betygssätt sedan beroende på hur väl de presterar, dvs. hur mycket bättre eller sämre blir exempelvis vattenkvaliteten, miljöbelastningen m.m. jämfört med nuläget eller ett annat referensalternativ. Resultaten kan sedan presenteras som viktade poäng som sammanfattar och visar vilket eller vilka åtgärdsalternativ som presterar bäst med avseende på olika aspekter. Syftet med verktyget är att möjliggöra en strukturerad utvärdering av åtgärders tekniska, sociala, miljömässiga och ekonomiska effekter. Detta innebär att verktyget syftar till att kunna identifiera de mest ändamålsenliga, resurseffektiva och hållbara lösningarna. Bedömningarna i WISER kan göras med eller utan osäkerheter beroende på hur detaljerat man vill göra analysen. I *Figur **2*** visas ett exempel på hur resultaten kan presenteras om bedömningarna görs med osäkerheter. För de två alternativen som ingår i exemplet i *Figur **2*** presenteras sannolikheten för att respektive åtgärd presterar bäst med avseende till tekniska, sociala, miljömässiga respektive ekonomiska aspekter.

Under 2021 publicerades en SVU-rapport (2021-8) som beskriver WISER och ger vägledning i tillämpningen av verktyget och multikriterieanalys generellt (Sjöstrand et al., 2021). Denna information finns också tillgänglig via DRICKS hemsida (https://www.chalmers.se/sv/centrum/dricks/wiser/Sidor/default.aspx) där verktyget också kan laddas ner.

Under 2021 inleddes bland annat ett samarbete med Sydvatten där WISER kommer att tillämpas för att utvärdera olika förbehandlingsprocesser. Verktyget ingår även i ett projekt där möjligheterna till konstgjord grundvattenbildning i Botswana utvärderas.



Figur 2 Exempel på resultat från WISER som visar sannolikhet för att respektive åtgärd (Alt. 1 och Alt. 2) får högt poäng (dvs. presterar bäst) med hänsyn till tekniska, sociala, miljömässiga respektive ekonomiska aspekter.

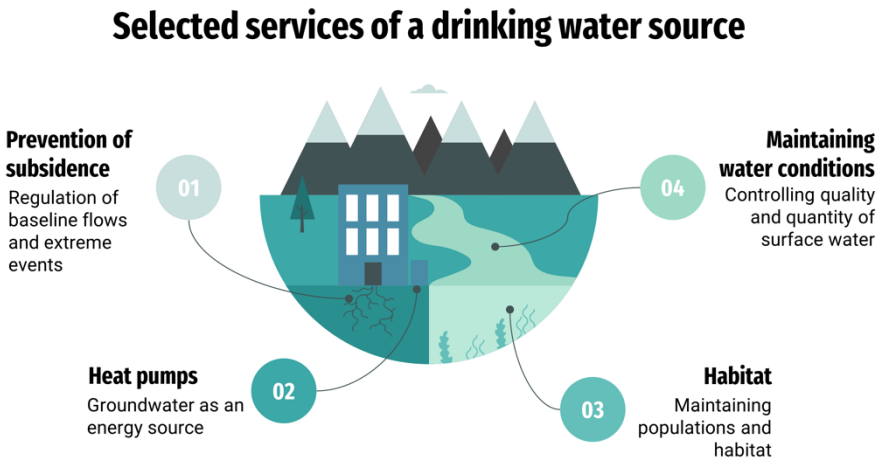
Leveranssäkerhetsanalys och kostnad/nytta av åtgärder

Att säkerställa leveransen av dricksvatten så att allvarliga avbrott inte sker är viktigt, men hur kan leveranssäkerheten analyseras och hur kan effekten av olika åtgärder utvärderas? Inom DRICKS har det tidigare genomförts projekt i syfte att analysera leveranssäkerheten i dricksvattensystem. För att ge ytterligare vägledning och inte minst visa hur åtgärdsalternativ kan utvärderas med hänsyn till såväl den riskreduktion (dvs. ökad leveranssäkerhet) de kan ge och den kostnad de är förknippade med, har Chalmers och Kretslopp och Vatten, Göteborg, inlett ett nytt projekt under 2021. Syftet med projektet är att visa hur leveranssäkerheten kan analyseras med hänsyn till avbrott som kan uppstå i såväl råvatten, beredning och distribution, samt effekten av olika råvatten- och dricksvattenkomplement kan utvärderas på ett systematiskt och likvärdigt sätt. Detta innebär att bland annat effekten av kompletterande råvattentäkter och leverans av dricksvatten från grannkommuner utvärderas och jämförs. Genom att jämföra den nytta åtgärderna ger upphov till med den kostnad de är förknippade med fås ett bra underlag för att kunna prioritera dem och fatta välgrundade beslut. Arbetet kopplar även till projektet *SVAR* (Stärkt vattenförsörjning inom GR) där bland annat leveranssäkerhetsfrågor ska analyseras inom hela Göteborgsregionen. Arbetet inom de olika projekten fortsätter under 2022 och är del av de nya projekten inom DRICKS som då startas upp.

Vattensystemtjänster och riskbedömning

Projektet WaterPlan (*Riskbaserad prioritering av vattenskydd i hållbart samhällsbyggande*) är fokuserat på hur skyddet av våra vattenresurser kan analyseras och utvärderas med hänsyn till såväl risk som samhällsekonomiska effekter. För att möjliggöra så kallade kostnads-nyttoanalyser, där skyddsåtgärders positiva och negativa konsekvenser mäts i kronor, finns det behov av underlag för

att både veta vilka konsekvenser som kan uppstå och hur dessa kan uppskattas i ekonomiska termer. Av denna anledning har arbetet inom WaterPlan bland annat fokuserat på att ta fram en lista som beskriver de tjänster som en vattentäkt ger samhället. Dessa tjänster har vi valt att kalla vattensystem och inkluderar utöver dricksvatten tjänster kopplade till elförsörjning, bevattning, rekreation, m.m. Genom att identifiera de tjänster en vattentäkt ger samhället går det också att visa vilka tjänster utöver dricksvattentjänsten som påverkar (positivt och negativt) vid införande av restriktioner (t.ex. vattenskyddsföreskrifter) eller andra skyddsåtgärder. I Figur 3 illustreras fyra vattensystemtjänster från en fallstudie i WaterPlan där en grundvattentäkt analyserats. Inom projektet har arbetet med vattensystemtjänsterna kombinerats med riskbedömningar för att visa hur risken för såväl dricksvattenförsörjningen som övriga tjänster ser ut och påverkas av åtgärder. Resultaten har under året bland annat presenterats på två konferenser (se avsnitt 6.2). Detta ger ett användbart underlag då behovet av skyddsåtgärder och specifika åtgärder ska diskuteras.



Figur 3 Exempel på fyra vattensystemstjänster kopplade till en grundvattentäkt som analyserats inom en av projektets fallstudier.

Inom WaterPlan har under 2021 mycket arbete lagts på att förbereda en värderingsstudie där människors betalningsvilja för att undvika olika störningar i dricksvattenförsörjningen ska kartläggas. De störningar som studeras är (i) avbrott i dricksvattenleveransen, (ii) otjänlig kvalitet, dvs. det kommer vatten men det måste kokas för att kunna användas till vissa ändamål, (iii) bevattningsförbud eller andra restriktioner i vattenanvändningen. Betalningsviljan kommer att kartläggas genom en enkätstudie som genomförs i början av 2022. De som besvarar enkäten kommer att få ta ställning till hur mycket de skulle vara villiga att betala för att undvika de olika långvariga störningarna. Resultaten ska kunna användas då olika skyddsåtgärder utvärderas i syfte att se om de kan bedömas samhällsekonomiskt lönsamma eller inte. Som en del av underlaget för värderingsstudien har en litteraturstudie publicerats som beskriver tidigare genomförda studier kring ekonomisk värdering av tillgång och kvalitet på dricksvatten (Wahtra et al., 2021).

Kostnads-nyttoanalyser av åtgärder i VA-lednignsnätet

Inom projektet Mistra InfraMaint är Chalmers och DRICKS involverade i två projekt där ett samhällsekonomiskt angreppssätt tillämpas för att uppskatta

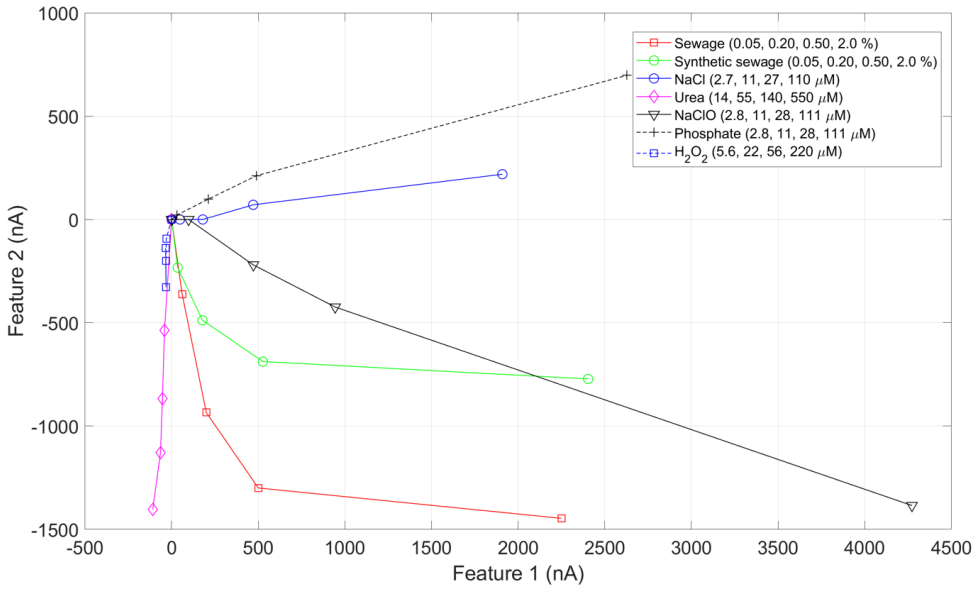
DRICKS arbete med beslutsstödsmetoder har under 2021 även involverat arbete inom Mistra InfraMaint, där Chalmers sedan tidigare medverkar i två delprojekt med fokus på beslutsstöd för VA-ledningsnät. Viktor Bergion startade under året upp ett projekt där Skellefteå kommun utgör

fallstudie och där syftet är att utveckla och tillämpa en metod för att jämföra och prioritera åtgärder kopplade till underhåll och förnyelse av bl.a. dricksvattenledningar. Anna Ohlin Saletti, industridoktorand vid Chalmers och anställd på Göteborgs Stad, har inom sitt pågående projekt bl.a. genomfört en litteraturstudie med fokus på tillskottsvatten och arbetat med hur kostnads-nyttoanalyser kan genomföras av åtgärder för att hantera tillskottsvatten. Båda projekten kommer genom fallstudier att visa hur de metoder som utvecklas kan tillämpas och ge vägledningen när åtgärdsalternativ prioriteras.

3.2 Hållbar drift av distributionsnät för säker vattenkvalitet (AP2)

I arbetspaket 2 ingår fem komponenter och här följer en kort sammanställning av resultaten under 2021.

Komponent 2.1 – Fortsatt fallstudie där tillämpning av elektronisk tunga i ledningsnätet utvärderas
Ett nätverk av sensorer som övervakar dricksvattenkvaliteten direkt i vattenledningarna skulle kunna ge vattenproducenter en lägesbild av vattenkvaliteten i ett helt distributionsnät i realtid. För att åstadkomma ett någorlunda finmaskigt sensornätverk behöver varje sensornod vara relativt billig och sensorn ska också kunna detektera relevanta förändringar hos vattenkvaliteten, vara långtidsstabil, kräva lite underhåll och helst kunna monteras direkt i det trycksatta distributionsröret. I det tidigare Vinnova/SVU-projektet Sensation testades olika sensortekniker (Kommersiella: konduktivitet, pH och spektral avvikelse med Spectrolyser (s:can Messtechnik GmbH), kloröverskott (Dulcotest CTE). Forskningssensorer: Elektronisk tunga (LiU) och flödescytometri (forskningsversion, RISE)). Som avvikelse testades intrång av avloppsvatten som en indikator på patogena mikroorganismer. Den elektroniska tungan var den sensor som bäst kunde detektera någorlunda låga halter avlopp (med bra signal/brusförhållande) och bedömdes därför vara den mest intressanta sensorn att gå vidare med.



Figur 4 Elektroniska tungans respons för olika ämnen adderade till dricksvatten. De två axlarna visar responsen från två s.k. "särdrag" (Features) i sensorns strömrespons. Genom att kombinera dessa går det att särskilja responsen från olika ämnen. Utgående från origo går responsen i olika riktningar beroende på tillsatt ämne.

Under 2021 har därför den elektroniska tungan testats på ledningsnätet och på en position som tillåter tillsats av avlopp och andra ämnen. Detta är ett samarbete mellan LiU, CTH och Tekniska

verken, där Tekniska verken har definierat inträngning av avloppsvatten i dricksvatten som ett högt prioriterat mål. I en undersökning av sensorns respons till flera olika ämnen konstaterades att det finns goda möjligheter att utveckla en avloppsalgoritm som specifikt kan larma vid avloppsinträngning. Detta illustreras av mätdata i *Figur **4***. Responsen för avloppsvatten (och syntetiskt avloppsvatten) följer en egen riktning i diagrammet och kan därför särskiljas från andra ämnen. Arbete med algoritmutveckling påbörjades 2021 och fortsätter under 2022.

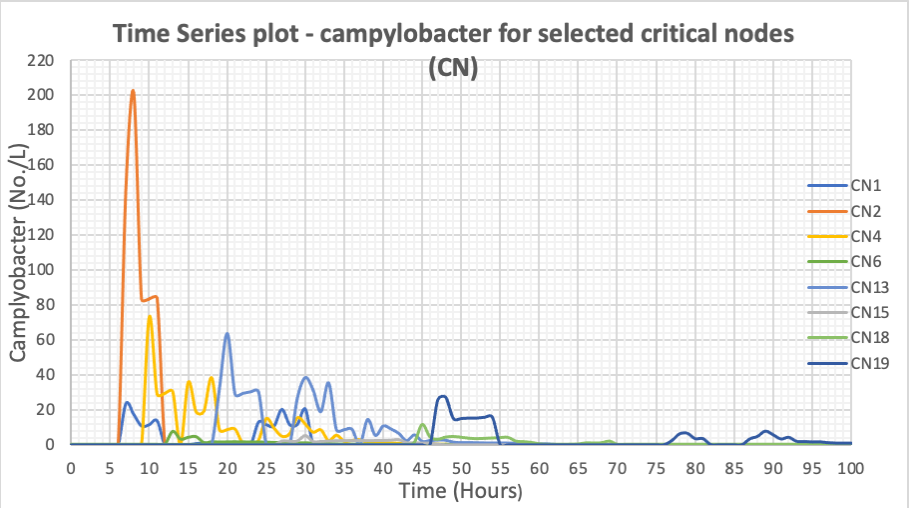
Komponent 2.2 – Utveckling av ramverk för hälsomässiga riskbedömningar i ledningsnätet
Det ramverk för riskanalys i dricksvattennätet (som utvecklats under 2018–2020), där hälsorisker för dricksvattenkonsumenter bedöms baserat på QMRA har fortsatt vidareutvecklats under 2021. Provtagningar och analyser av mikrobiologiska föroreningar i markvatten, det vatten som finns runt dricksvattenledningarna och som vid låga tryck eller trycklöst nät kan tränga in i distributionsledningarna, har genomförts under 2021. Analyser som planerats och genomförts under 2021 är halten E.coli och koliforma bakterier i markvattnet, samt att en delmängd av dessa vattenprover har filtrerats och fryst in filtren för att senare analyseras för halten patogener (vilket kommer genomföras under första delen av 2022). Dessa resultat har börjat sammanställas under 2021 men fortsatt provtagning och analyser kommer att genomföras under 2022, för att sedan implementeras i det befintliga QMRA-verktyget. Verktyget kommer tillgängliggöras dricksvattenbranschen via DRICKS hemsida under DRICKS nästa programperiod.

Vidare har en modell för att bedöma hälsorisker i samband med korskopplingar och bakflöden i distributionsnätet slutförts under 2021 och skickats in för publicering i vetenskaplig tidskrift. Modellen bygger på en felträdsmodell med hjälp av ett vidareutvecklat QMRA-verktyg som tagits fram och slutförts under 2021.

Komponent 2.3 – Hydrodynamisk modell för sensorplacering för effektiv övervakning av läckage
Inom projektet Future City Water (FCW) genomfördes ett examensarbete vid Chalmers där flöden och tryckfördelning i ett distributionsområde (bostadsområde), som är väl avgränsat och beläget i slutet av nätet, modellerades. Flera scenarier var händelser som skapar väldigt låga tryck i systemet. Händelser som simulerats/modellerats i det studerade distributionsnätet var stora brandvattenuttag under upp till ett par timmar, samt effekter på grund av kraftiga rörbrott som båda orsakade låga tryck, i vissa fall undertryck, i delar av ledningssystemet. Baserat på detta beräknades mängden markvatten som potentiellt kan tränga in i aktuella ledningssträckor, där halten patogener uppskattats baserat på mängden fekala indikatorer som kan förväntas i markvattnet i ledningsgraven (på grund av utläckage från intilliggande avloppsledningar) där dessa värden är baserade på resultaten från provtagningarna i komponent 2.2 (se ovan). Genom att använda kvotmodell och en antagen incidens (smittläget) bland befolkningen i anslutet avloppssystem så kan halten patogener uppskattas på ett strukturerat sätt. Baserat på den inträngda mängden patogener i ledningnätet och spridningsberäkningarna av hur patogenhalter varierar i nedströms tappkranar (se *Figur **5***) kan risken för infektion hos konsumenter beräknas med hjälp av det modifierade QMRA-verktyget (i komponent 2.2).

Arbetet med att modellera fler scenarier fortsatte efter examensarbetet som ett seniorprojekt, där även grundvattennivåerna i området beräknas, baserat på nivåerna i SGUs närliggande grundvattenrör. Genom att inkludera det hydrauliska trycket från grundvattnnivåerna, där de ligger

över dricksvattenledningen, påverkas den inträngda mängden markvatten och därigenom även hälsorisken för nedströms dricksvattenkonsumenter. Arbetet fortsätter under 2022 och kommer då att bli publicerat.



Figur 5 Patogenhalter i nedströms ledningsnät (tappkranar) orsakat av uppströms inträngning av förorenat markvatten.

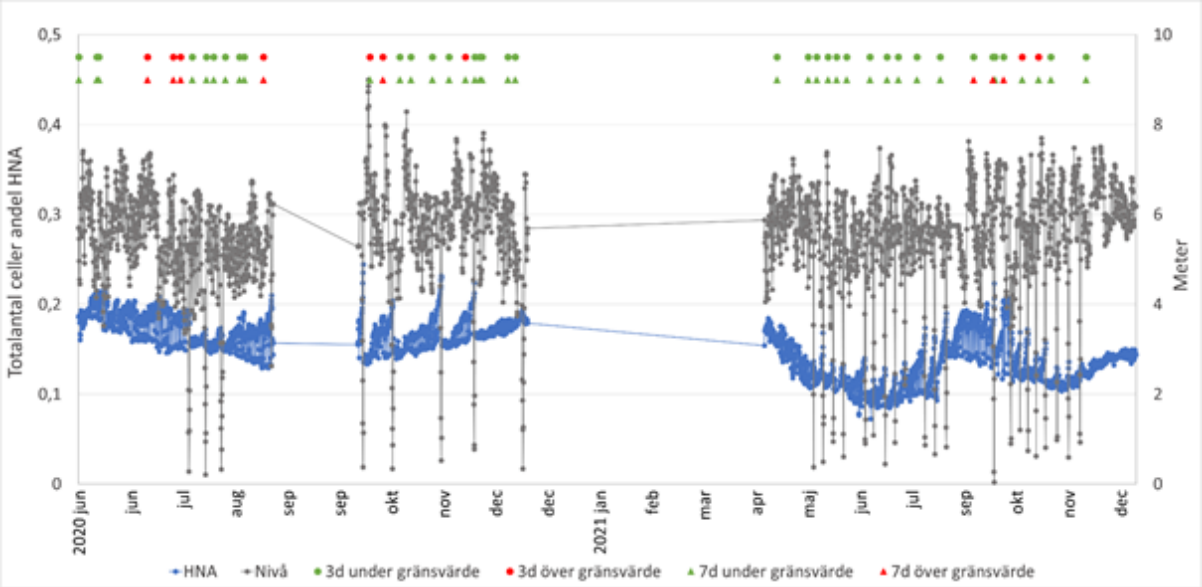
Komponent 2.4 – Prognostisering av avvikelser och energioptimering i dricksvattenförsörjningen
Under 2021 påbörjades arbetet med att analysera dricksvattenförbrukningen och dess förbrukningsmönster i fem väldefinierade förbrukningsområden. Analyserna kommer att genomföras av dricksvattenkollega Martin Wagner vid TZW i Dresden, Tyskland. TZW har utvecklat en arbetsmetodik med hjälp av olika algoritmer (AI, big data mm.) för att upptäcka avvikelser i dagliga variationer i vattenkonsumtion över en längre tid. Detta genomförs för att kunna identifiera anomalier i förbrukningen för att därigenom bland annat kunna identifiera läckor. Arbetet kommer huvudsakligen genomföras under 2022, på grund av sjukskrivning vid TZW under november-december 2021. Men under 2021 har hittills 4 års förbrukningsdata inhämtats för de fem områdena vilka sedan sammanställts och levererats till TZW för att analyseras under första halvan av 2022.

Komponent 2.5 – Mikrobiologiska processers påverkan på dricksvattenkvalitet och biostabilitet
Norrvatten och Lunds universitet har under 2021 fortsatt att studera ett vattentorn i Stockholm som under många år haft problem med höga halter av heterotrofa bakterier (HPC) under sensommaren och hösten. Med automatisk FCM på utgående reservoarvatten har man kunnat förutsäga höga HPC-värden samt ta fram en FCM-styrd driftrutin som eliminerar kvalitetsproblemet. Dna-analys av HPC-kolonier, reservoarvatten och biofilmsprover från tornet genomförs 2022. Förutom automatisk FCM-analys har vattentornet analyserats med en automatisk ATP analysator (AppliTek EZ-ATP), och en automatisk partikelsensor från Uponor. Mätningarna som för vissa instrument sker varje timme har genererat en detaljerad bild av vattenkvalitén i reservoaren samt varit ett underlag för att utvärdera olika driftåtgärder.

ATP-instrument har levererat data cirka 2 år (november 2019 t.o.m. december 2021), med varierande tidsintervall på varje, varannan, var tredje och var fjärde timme. Halten intracellulärt, s.k. bakteriellt, ATP varierade mellan cirka 2 och 6 µg per ml vilket är strax över instrumentets

kvantifieringsgräns på 0.5 pg/ml. Totalt ATP följde bakteriellt ATP på en marginellt högre nivå. Fritt ATP var <0.5 pg/ml. ATP-värdena följde i stort vattentemperaturerna bortsett från februari 2020. Dock kunde ingen korrelation påvisas mellan; ATP och vattennivåerna i vattentornet, ATP och FCM, eller ATP och HPC. Troligtvis var ATP-nivåerna i utgående reservoarvatten för låga för att kunna påvisa eventuella korrelationer.

Partikelmätningarna som pågick cirka ett halvår påvisade s.k. B-partiklar som indikerar kluster eller partiklar som kopplas till fragment från biofilm eller sediment som normalt inte förekommer i dricksvatten (Uponor Corporation, Finland). De högsta B-partikelvärdena observerades i samband med reservoartömningar för att därefter sjunka successivt till låga värden under längre drift. Manuell provtagning av Reservoar 433 visade också hög turbiditet direkt efter en fullständig tömning av den inre bassängen. Detta visar att påfyllnadsprocessen av tornet rör upp partiklar, troligtvis från bottensediment, som därefter kan återsedementera eller följa med utgående dricksvatten.



Figur 6 *Vattennivåer (meter) och %HNA(TCC) i Reservoar 433 s inre bassäng från juni 2020 t.o.m. december 2021. Data visas för de tre perioder som driftmetoden med reservoartömningar utvärderades. Totalt var det 28 tömningar. Cirklar visar odlingsbara mikroorganismer och trianglar långsamväxande bakterier. Gröna cirklar/trianglar är godkända odlingsresultat medan rött redovisar prover som överstiger gränsvärdet för de mikrobiologiska analyserna enligt Livsmedelsverkets föreskrifter (SLVFS 2001:30).*

I *Figur **6*** presenteras FCM-data från juni 2020 t.o.m. december 2021 för tre representativa perioder. De dubbla reservoarbassängerna i Reservoar 433 möjliggjorde att öka vattenomsättningen i en bassäng medan den andra utgjorde bufferten för leveranssäkerhet. På så sätt kunde en driftmetod testas, nämligen att genomföra partiella tömningar av den inre bassängen i juli månad 2020 när HPC-värdena överskred gränsvärdena. Initialt testades 5 – 10 % större vattenomsättning i båda bassängerna genom att både fylla och tömma mer vatten under 5 dagar. Den ökade omsättningen gav inget nämnvärt utslag på %HNA(TCC) och inte heller på odlingsbara bakterier. Därför testades en kraftigare åtgärd, en full tömning av de båda bassängerna i tornet. Genom att göra det i omgångar fanns det fortfarande vatten för distribution i tornet. Denna tömning sänkte distinkt %HNA(TCC) och HPC-värdena. Därefter utvärderades tidsintervallen mellan tömningarna vilket tydliggjorde att HNA-värden som översteg 20 % genererade HPC-värden som överskred gränsvärdena. Sommaren 2021

genomfördes regelbundna tömningar var 14-dag vilket med marginal sänkte %HNA(TCC) samtidigt som odlingsresultaten visade enstaka cfu per ml. Noterbart sänktes basnivån för %HPC(TCC) i den inre bassängen under denna period vilket troligtvis berodde på en mer grundlig ursköljning av bassängen.

Tillsammans med VASYD, Sweden Water Research och Sydvatten har en examensarbetare på Lunds universitet arbetat med att ta fram olika verktyg för att hålla koll på mikrobiell dricksvattenkvalitet och biostabilitet inom ledningsnätet. I stället för att använda det totala antalet celler eller procentandelen HNA tolkades onlineflödescytometridata med hjälp av Bray-Curtis olikhet över tiden. Bray-Curtis jämför olika fördelningar inom data, och inte bara antalet bakterier som finns i vattnet. Den här studien visade att direkt efter en händelse i ledningsnät blev det en stor störning i den mikrobiella vattenkvaliteten, men att de mikrobiella förutsättningarna i vattnet på grund av störning var borta inom 3 dagar. Det visade sig också att mikrober skiljde sig åt mellan de två provtagningspunkterna (den gröna vs den orangea linjen), vilket kunde förklaras antingen med tillväxt av bakterier i vattnet i rören över tid, eller att biofilmen släppt från rören.

3.3 Förekomst av kemiska ämnen och barriärverkan (AP3)

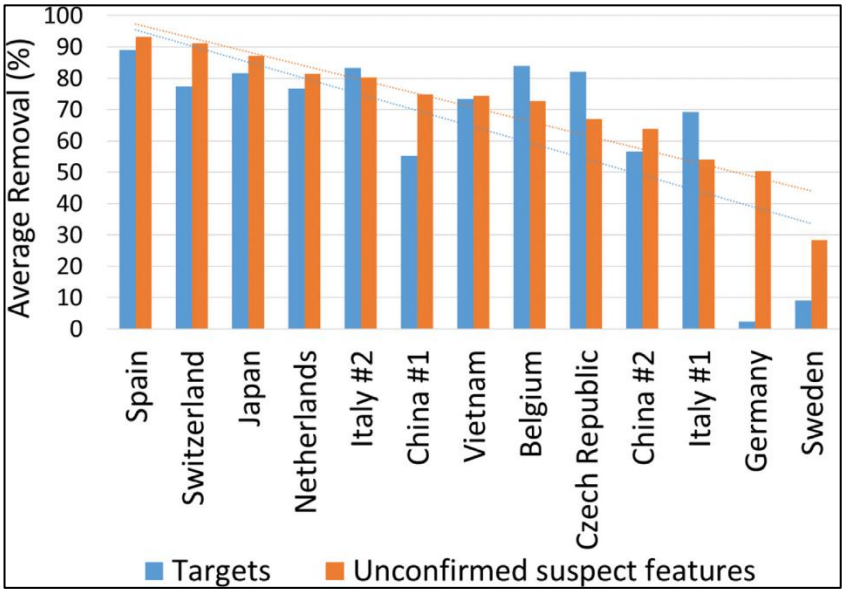
Inom AP3 har arbetet framför allt bedrivits inom ramen för följande forskningsprojekt: Dante (Formas), SafeDrink (Formas), Prestandajämförelse av granulerat aktiverad kol (Formas, Norrvatten), Genomljusning (Svenskt Vatten Utveckling, SLU och 5 vattenverk), LakePOPs (Formas), *och* Riskrankning av kemikalier i dricksvatten - Risktermometern (Svenskt Vatten Utveckling)

Inom dessa projekt genomfördes ett pilotförsök och fältprovtagningar som presenteras nedan.

DANTE
I detta forskningsprojekt, som stöds av Formas (2019 – 2022; 12 milj. kr), använder vi effektdriven analys (EDA) för att identifiera vilka av alla tiotusentals kemikalier i vattenmiljön som orsakar toxiska effekter. Det gör vi med hjälp av cellbaserade biologiska analyser, så kallade biotester, i kombination med kemiska analyser (högupplösande masspektrometri). Inom projektet har hittills provtagning och analys av vattenprover från Barcelona genomförts. På grund av pandemin har installationen av instrumenteringen (EDA-plattformen på institutionen för vatten och miljö) blivit kraftigt försenad. Vi har även behövt rekrytera ny personal. Projektet förväntas gå på full fart igen från och med våren 2022. Projektet leds av Johan Lundqvist, SLU.

SAFEDRINK
Detta projekt (2013 – 2018) fokuserade på hälsofarliga kemikalier i dricksvatten och har slutrapporterats till Formas, men den sista studien publicerades 2021 (Tröger et al., 2021). Vi analyserade rå- och dricksvattenkvalitet för 13 olika vattenverk verksamma i 11 olika europeiska och asiatiska länder. Reningseffektiviteten undersöktes för kända (target) oönskade kemiska ämnen (PFAS, läkemedel, pesticider, industrikemikalier, etc.) och även för så kallade ’suspects’ som är kemiska ämnen i dricksvattnet, vars molekylstruktur är preliminär (ej bekräftad). Flera nya dricksvattenförorenande ämnen upptäcktes och en viktig slutsats från studien är att det fanns ett samband mellan reningseffektivitet för ‘target’ och ‘suspect’ ämnen (*Figur **7***).

(Avhandlingen kan laddas ner här https://pub.epsilon.slu.se/19766/ och den sista studien och all data kan laddas ner här https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.117099.)



Figur 7 Medelvärde för reningseffektivitet (%) för 'suspects' (orange; n = 15-65) och kända ämnen ('targets'; blå; n = 6-71) i de 13 studerade dricksvattenverken (Tröger et al. 2021)

Prestandajämförelse av granulerat aktiverat kol

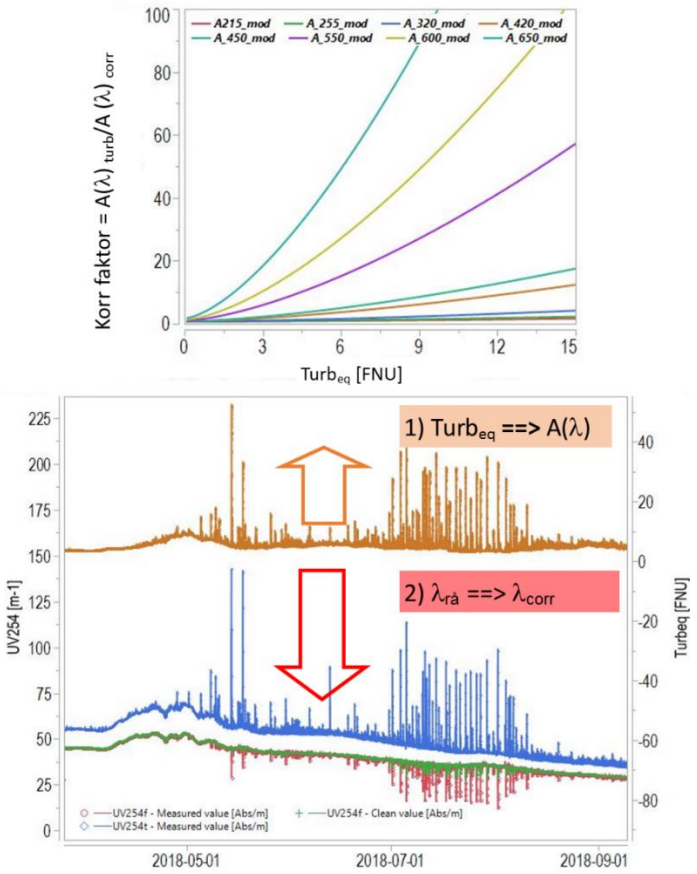
Norrvatten har bedrivit ett pilotförsök med ozon och filtrering över granulerat aktivt kol (GAK) på Görvälnverket 2018-2019, där två olika typer av kol (Filtrasorb och Norit) och olika kontakttider (EBCT = empty bed contact time) har studerats. Efter ett års analysverksamhet utvärderades borttagning av oönskade kemiska ämnen över ozoneringssteget och över GAK-kolonner, med och utan ozonerat vatten. Arbetet har resulterat i en vetenskaplig publikation där den kombinerade behandlingen (ozon-GAK) utvärderats (Ullberg et al., 2021). En sammanfattning av resultaten för oönskade kemiska ämnen redovisades i Verksamhetsberättelsen 2020. Hela studien och all data kan laddas ner här: https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.117099

Under 2021 har ett vetenskapligt manus skrivits ihop med fokus på naturligt organiskt kol (NOM) i Görvälnpiloten. NOM karakteriserades med flera olika metoder (bl.a. LC-OCD och assimilerbart organiskt kol). Förändringar i mängd och sammansättning hos det lösta kolet studerades i detalj över ozoneringssteg och GAK-filtrering över 18 månader. En vetenskaplig artikel skickades in till Water Research i början på 2022. Resultaten kan sammanfattas enligt:

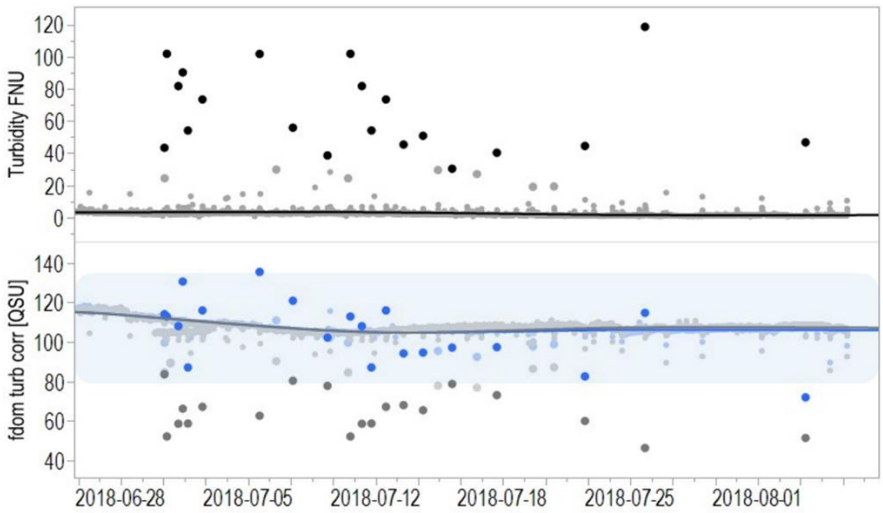
- Biologisk nedbrytning var effektiv för att ta bort alla NOM-fraktioner (mätta genom LC-OCD), förutom biopolymerer. Olika NOM-fraktioner nådde emellertid steady state vid olika tidpunkter. 300 dagar efter experimentstart (~20 000 BV) hade alla fraktioner nått steady state och övergången till biofilter kunde anses vara färdig.
- NOM-sammansättningen ändrades under ozonering. Mest förändrade var humusämnen och den neutrala lågmolekylära fraktionen (eng. neutrals), som minskade signifikant med 5 respektive 8 %. Viss bildning av byggstenar (eng. building blocks) och lågmolekylära

humussubstanser observerades. UV254-signalen minskade över alla fraktioner, utom för biopolymerer. Humussubstanser och den lågmolekylära neutrala fraktionen avlägsnades främst genom adsorptionsprocesser, medan LMW humusämnen/neutrala fraktionen och byggstenar avlägsnades genom biologisk nedbrytning. Biopolymerer passerade genom GAK utan hinder.

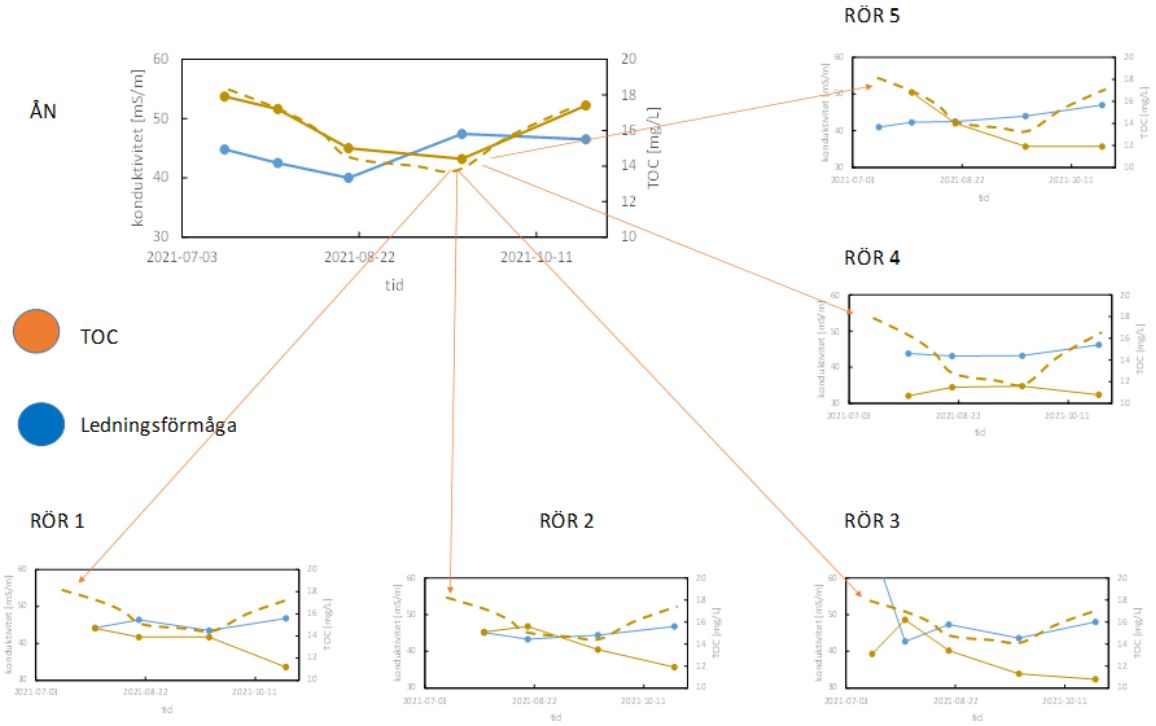
- Vid tillfällen då mycket höga nivåer av byggstenar bildades under ozonering avlägsnade GAK-mediet det effektivt.
- Assimilerbart organiskt kol (AOC) mätt med bakteriekultur Pseudomonas fluorescens P17 (AOCP17) ökade med 85 % efter ozonering och reducerades därefter till nivåer före ozonering genom GAK-filtrering. AOC mätt med bakteriekultur Spirillum sp. NOX (AOCNOX) ökade med 1700 % och 60 % av denna fraktion avlägsnades med efterföljande GAK. Detta avlägsnande tillskrevs främst biologisk nedbrytning. En ökning från 12 min EBCT till 20 minuter ökade inte borttagningen ytterligare.
- En signifikant positiv korrelation (p = 0,00023) hittades mellan byggstensfraktionen och AOCNOX (men inte AOCP17) i ozonerat vatten. Detta tyder på att byggstensfraktionen efter ozonering till viss del är lätt biologiskt nedbrytbar.
- Borttagning av DOC och UV254 ökade linjärt med ökande EBCT. Det enda undantaget var UV254 för gammal GAK, för vilken borttagning var oberoende av EBCT.



Figur 8 Effekt av turbiditet (•) på UV254 (•) uppmätt i Gavleån under perioden våren till hösten 2018. Övre figuren visar samband mellan turbiditet och faktor med vilken absorbanssignalen ökar för en signal som mätts vid olika våglängder. Den gröna kurvan (•) visar det för turbiditet korrigerade värdet för UV254.



Figur 9 Resultat av korrigering av fDOM för variationer i turbiditet. Tidsserier (ovan) av turbiditet ([FNU]) och platsspecifik korrigerad fDOM [QSU] (blå) eller inte platsspecifik korrigerad fDOM [QSU] (grå) där prover av hög turbiditet (FNU> 30) är markerade i fet stil. För prover där FNU> 30 kan det korrigerade fDOM ändå avvika upp till 25 %. Det är också tydligt att den platsspecifika korrektionen (blått) är bättre. Den blå-markerade zonen anger värden som ligger inom 25 % av det faktiska värdet.



Figur 10 Resultat av mätningar av en optisk sensor med genomflödescell på fem utvalda platser (Rör1-5) på infiltrationsområdet i Vallskog jämfört med infiltrationsvatten (ån) över tid för både ledningsförmåga (blå) och TOC (brun).

Genomljusning

Under 2021 fortsatte arbetet med utvärderingen av användningen av optiska sensorer i dricksvattenverk. Under våren påbörjades arbetet med att skriva ett manuskript som bearbetar data från användning av optiska sensorer i Gavleån. I detta arbete togs det fram en semi-automatiserad metod för korrektion av partiklar för både flourescens och absorbansbaserade mätningar. Under

2021 färdigställdes slutrapporten. Rapporten *Optiska sensorer inom dricksvattenberedning Rapport 2021-25* kommer att publiceras på Svenskt Vattens hemsida i mars eller april 2022.

Ett exempel av korrektion av partiklar på flourescens visas i Figur 8.

Användning av optiska sensorer testades även vid infiltrationsanläggningen i Vallskog i Uppsala. Under arbetet testades huruvida optiska sensorer snabbt kan ge en indikation på borttagning av organiskt material i den översta metern av den mättade zonen i fem olika grundvattenrör. Resultaten är inte fullt utvärderade än, men det visade sig att de olika provplatserna reagerade med olika tidsfördröjning och visade även på signifikanta rumsliga skillnader.

LAKEPOPs
Detta projekt (2018–2020) har slutrapporterats till Formas, men doktoranden i projektet (Frank Menger) var aktiv även under 2021. Målet med LAKEPOPs var att screena för potentiellt giftiga organiska miljöföroreningar i dricksvattentäkten Mälaren och andra källvatten samt öka kunskapen om nya miljöföroreningar som kan utgöra kemiska hälsofaror för människor. Vi utvecklade screeningmetoder för långlivade och bioackumulerande miljöföroreningar för att analysera och upptäcka både kända och inte väl kända ämnen i in- och utgående kommunalt avloppsvatten, ytvatten samt biota. Projektet tillämpade 'target' och 'suspect' screening för t.ex. läkemedel, bekämpningsmedel, per- och polyfluoralkylsubstanser (PFAS), parabener, industrikemikalier, produkter för personlig vård och stimulantia samt 'non-target' screening för okända ämnen i biota. Fokus låg på ämnen med känd toxicitet (t.ex. halogenerade föroreningar), pesticider och deras omvandlingsprodukter samt bioackumulerande ämnen. Franks avhandling återfinns här https://pub.epsilon.slu.se/23726/, studien av pesticider och deras nedbrytningsprodukter i ytvatten kan laddas ner här https://doi.org/10.1021/acs.est.1c00466 och arbetet om halogenerade ämnen i vatten här https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123377.

Riskrankning av kemikalier i dricksvatten – Risktermometern
Syftet med projektet (2021-2023) är att undersöka tillämpbarhet av ett verktyg för ranking av kemiska hälsorisker (Risktermometern) som ett prioriteringsverktyg för åtgärder mot oönskade kemiska ämnen i dricksvatten. Målet är att efter projektets avslut ha testat den nuvarande versionen av Risktermometern med hjälp av data från mätningar av oönskade ämnen i några av de större vattenverken i Sverige (ca 80 ämnen). Projektet undersöker hur väl verktyget tillgodoser producenternas behov, och vad som behöver utvecklas för att bättre passa arbetet med att säkerställa dricksvattnets hälsomässiga, kemiska kvalitet. Under 2021 har en databas med haltdata från 3 vattenverk omfattande både reglerade och oreglerade oönskade ämnen upprättats. Arbetet med att från litteraturen ta fram hälsobaserade riktvärden för de uppmätta ämnena har inletts.

3.4 Biofilter och mikrobiologiska barriärer (AP4)

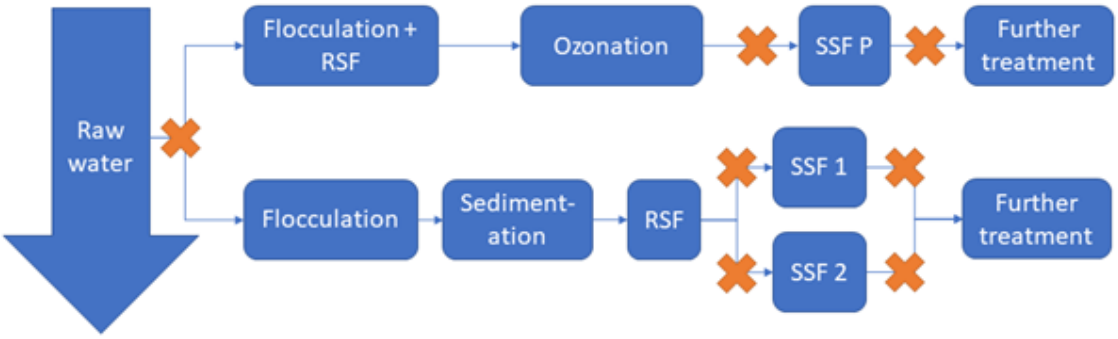
Arbetet som bedrivits inom AP4 under 2021 beskrivs nedan för de ingående komponenterna. Det främsta målet var att bidra till utvecklingen av övervakningen och optimeringen av biofilter, bedömningen av beredningseffektivitet och barriärverkan, samt detektionen av mikrobiologiska risker i vatten och biofilmer.

- Att skapa en hållbar framtid för beredning av dricksvatten från långsamfilter (Formas)

- Virus i dricksvatten – Viabilitet och reduktion efter rening (SVU)
- Urbana bad (Sweden Water Research)

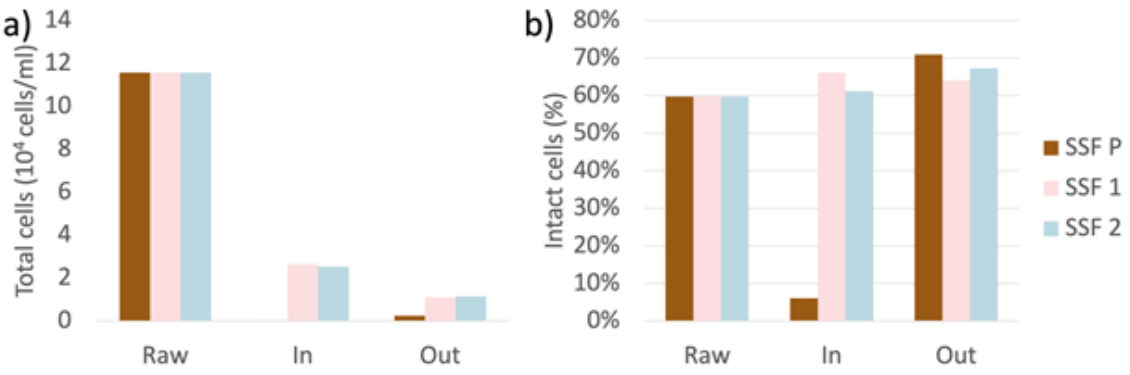
Komponent 4.1 – Taxonomisk och funktionell karaktärisering av biofilter

Genom provtagning och metagenomisk sekvensering av två fullskaliga och ett pilotskaligt långsamfilter har de mikrobiella samhällena i biofilter, ingående och utgående vatten under olika processbetingelser studerats. Långsamfiltren drivs av Trollhättans Energi och renar vatten från Göta älv. Skillnader finns i de behandlingssteg vattnet genomgår innan det når långsamfiltren (*Figur 11*). I synnerhet väntas ozoneringen av det ingående vattnet till det pilotskaliga filtret påverka dess biofilmsflora. Ozoneringen är avsedd att förbättra reningen av dricksvattnet med avseende på mikroföroreningar. Proven togs i mars 2021 och sekvenserades av National Genomics Infrastructure (SciLifeLab, Solna) i oktober 2021.

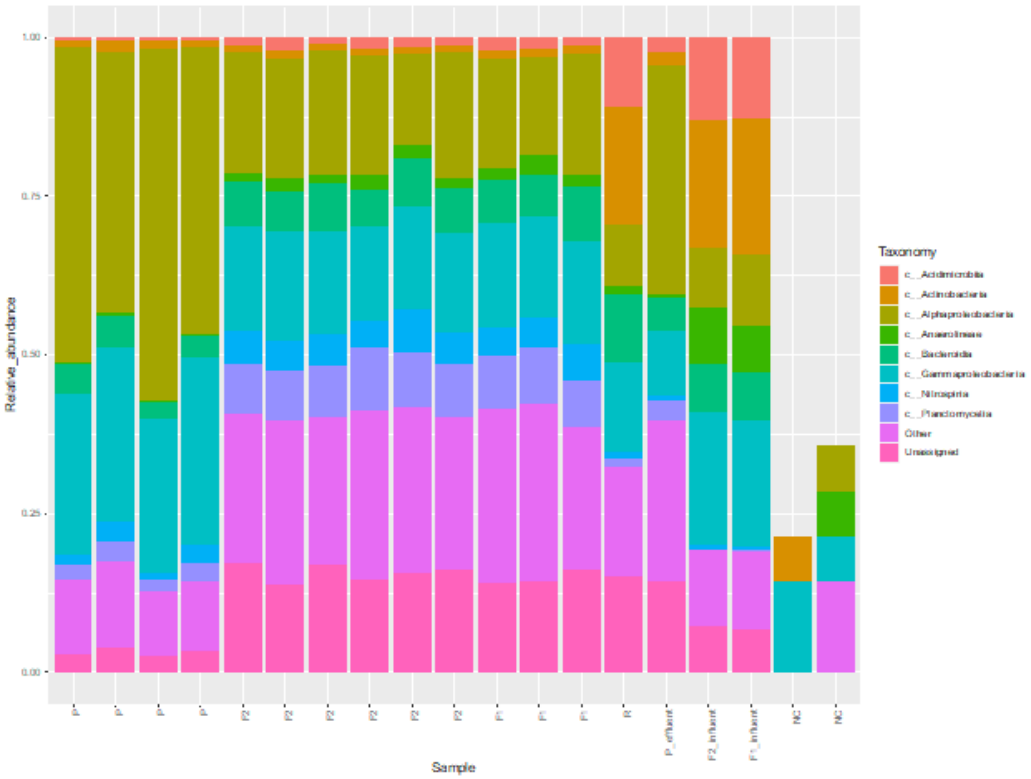


Figur 11 *Övergripande processchema. Överst är pilotprocessen. Nederst är den fullskaliga vattenberedningsprocessen. Kryss indikerar tagna vattenprover. Sex sandprover har tagits från ytan av varje långsamfilter (SSF P, SSF 1 och SSF 2).*

Förutom sekvensering användes flödescytometri för att kvantifiera antalet celler i råvattnet samt filtrens ingående och utgående vatten (*Figur **12***). Detta visar att till skillnad från de fullskaliga filtren får det pilotskaliga filtret närmast inga celler från råvattnet. Därmed härstammar de mikrobiella samhällena i efterföljande processteg helt och hållet från biofiltret.



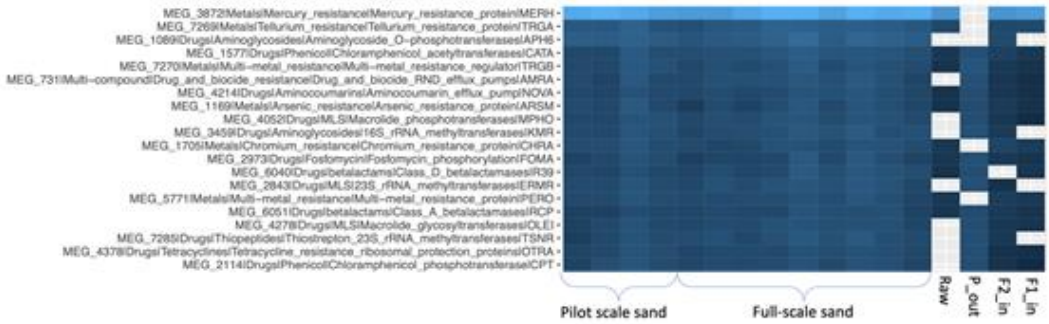
Figur 12: *a) Det totala antalet celler i råvattnet, ingående vatten samt utgående vatten för de olika långsamfiltren. b) Det procentuella antalet intakta celler i samma prov.*



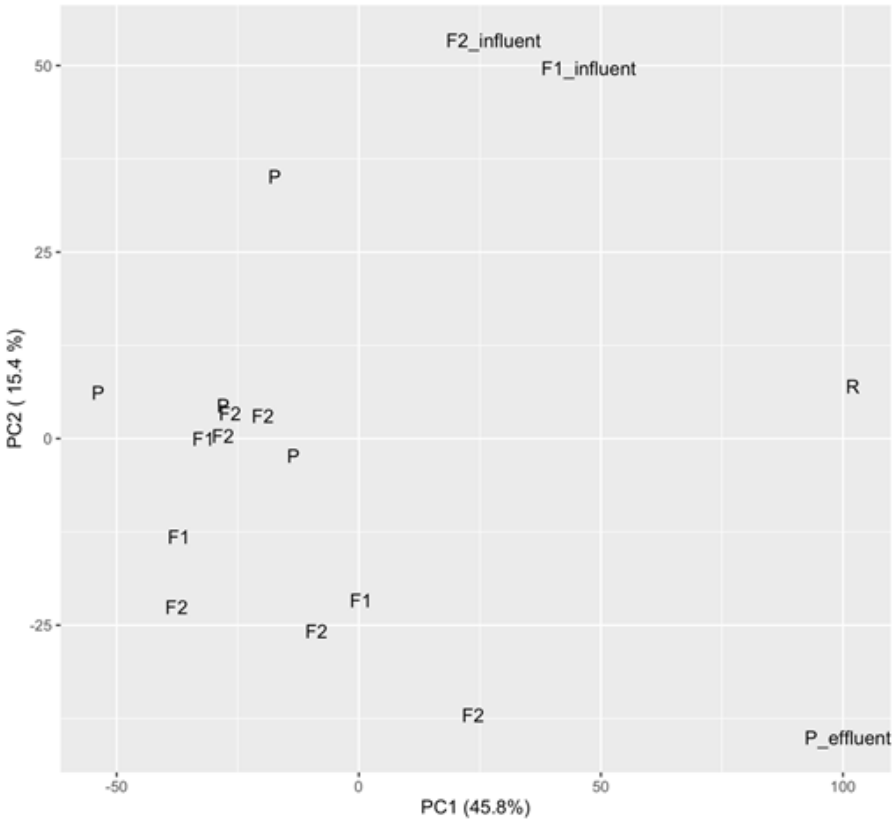
Figur 12 *Taxonomisk sammansättning av långsamfilters och vattenprovs mikrobiella samhällen, på klass-nivå. Från vänster till höger visas: 4 prov från det pilotskaliga filtret, 6 prov från ett av de fullskaliga filtren, 4 prov från det andra fullskaliga filtret, 1 prov från råvattnet, 1 prov från det pilotskaliga filtrets utgående vatten, 2 prov från det ingående vattnet till de fullskaliga filtren, 2 negativa kontroller.*

Preliminära taxonomiska resultat tyder på att de mikrobiella samhällena till stor det består av Proteobakterier (*Alpha*- och *Gammaproteobacteria*), i synnerhet det pilotskaliga filtret (Figur 12). Proteobakterier är vanliga inom vattenberedning, och har tidigare observerats dominera i Ringsjöverkets långsamfilter (Stehag, Skåne). Den höga förekomsten av *Gammaproteobacteria* och relativa frånvaron av *Betaproteobacteria* utgör dock en skillnad. En tänkbar anledning skulle kunna vara att samhällena till större grad utsätts för mätbara koncentrationer av läkemedelsrester från Göta älv, vilket har visat sig främja *Gammaproteobacteria* (https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969715004507).

Till skillnad från tidigare studier, där enbart genetiska streckkoder i form av 16S- eller ITS-regioner analyserats, har allt genetiskt material i proven sekvenserats. Detta innebär att förutom taxonomiska resultat kan även enskilda gener kopplade till funktion eller risk identifieras. Preliminära analyser har inriktat sig på att identifiera gener för antibiotikaresistens i rådatan. Ett flertal potentiella gener för antibiotika-, metall- och pesticidresistans har identifierats (Figur 13).



Figur 13 De 20 mest relativt förekommande antibiotikaresistansgener som identifierats i proven. Ljusare färg indikerar högre relativ förekomst.

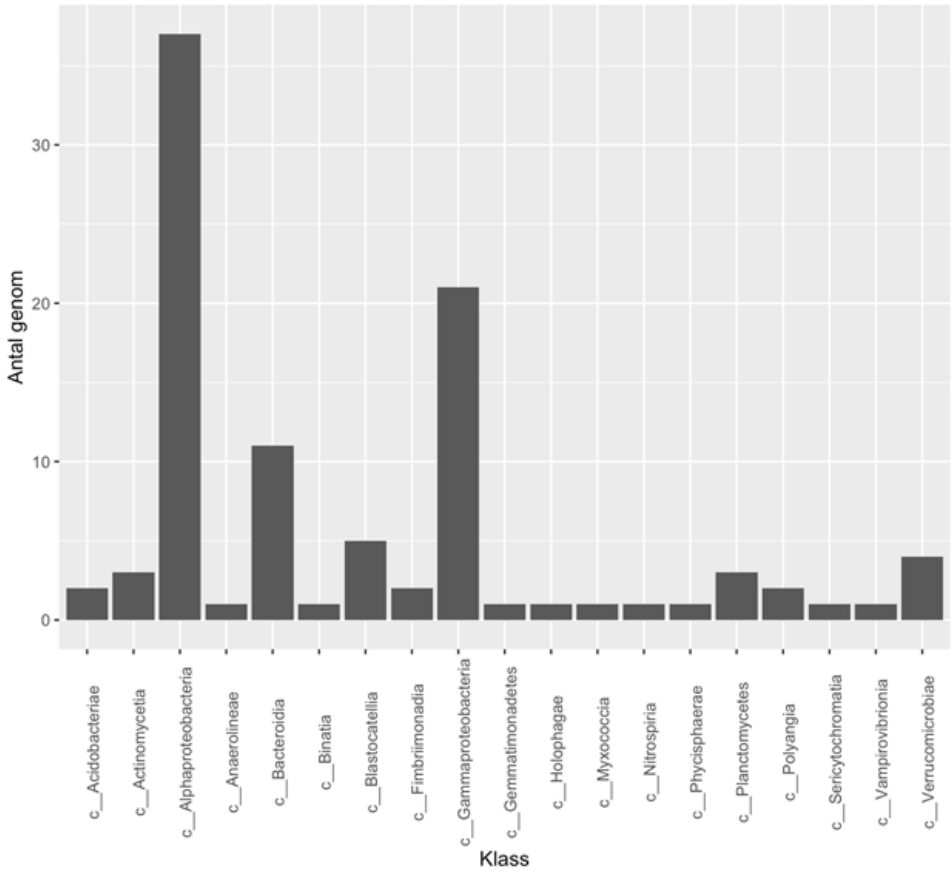


Figur 14: Principalkomponentanalys av antibiotikaresistensgener som detekterats i proven. "P" motsvarar prov från det pilotskaliga sandfiltret. "F1" och "F2" motsvarar prov från de fullskaliga sandfiltren. "R" representerar provet från råvattnet.

Skillnader mellan vilka antibiotikaresistensgener som detekterats i de olika proven kan visualiseras med hjälp av principalkomponentanalys (PCA) (Figur 14). Eftersom proven inte tycks bilda kluster enligt vilket långsamfilter de tagits från, indikerar detta att ozoneringen inte tycks ha någon betydande inverkan på eventuell antibiotikaresistens hos biofilmens organismer.

Genom att sammanfoga de korta sekvenser som finns i rådatan undersöks möjligheten att koppla gener relaterade till funktion eller risk till enskilda arter av mikroorganismer eller mobila genetiska element, såsom plasmider. Preliminära försök har utvunnit 100 mikrobiella genom från det pilotskaliga filtret, av vilka 58 tillhör *Alpha*- och *Gammaproteobacteria* (Figur 15). Därtill har ett antal potentiella plasmidsekvenser identifieras. Nästföljande steg kommer att optimera processen för att

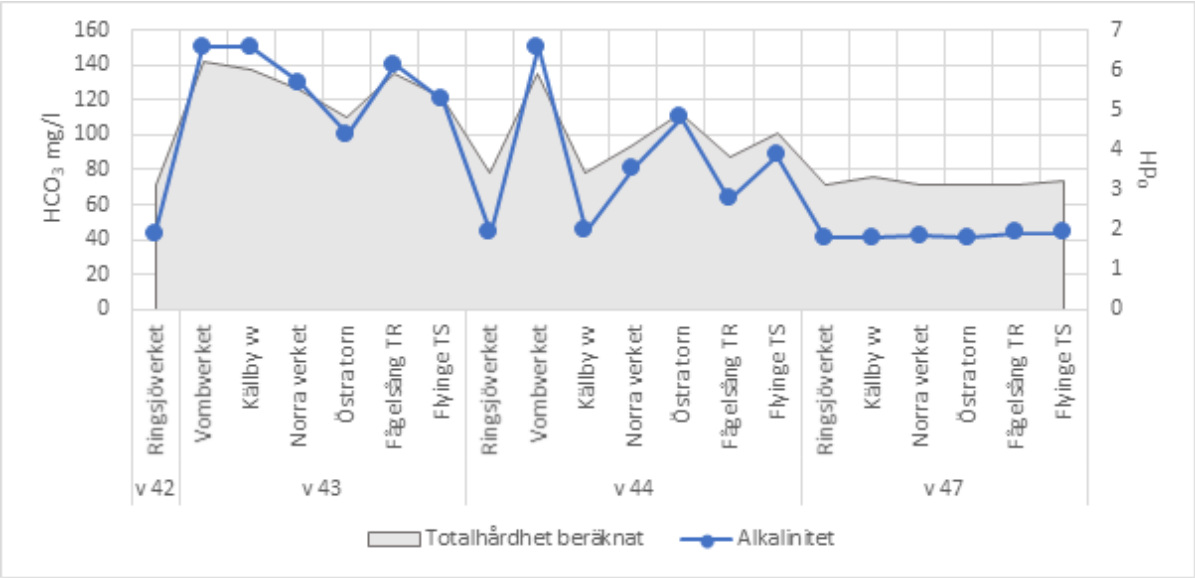
utvinna genom och plasmidsekvenser, applicera detta på resterande prov, samt att identifiera gener som kan bidra till funktion eller risk.



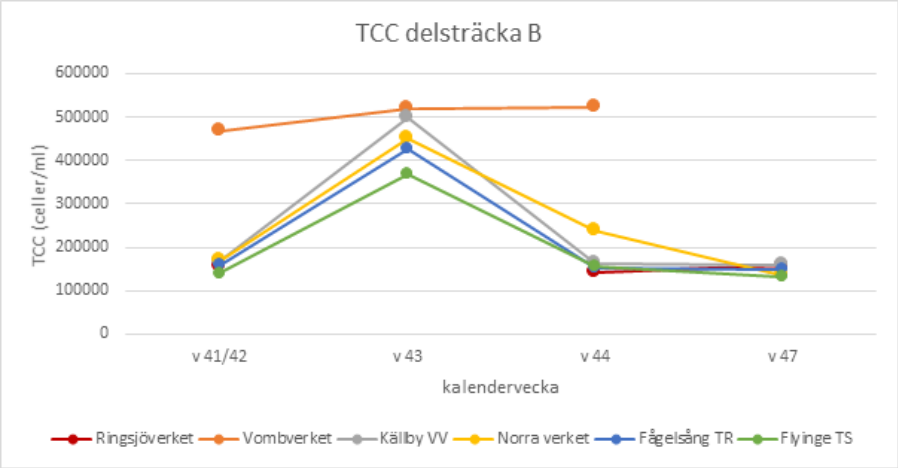
Figur 15 Den taxonomiska identiteten hos de genom som utvunnits från det pilotskaliga filtret, på klass-nivå.

Komponent 4.2 – Undersöka beredningars förmåga att fungera som kemiska och mikrobiologiska säkerhetsbarriärer.

Sydvatten och VA SYD har som en del av SVU-projektet 19-102 analyserat dricksvattnet i Lund i samband med ett större ledningsarbete som innebar att Lund under perioden försörjdes med vatten från Vombverket istället för med vatten från Ringsjöverket. Vombverket använder en annan råvattenkälla och har en annan beredningsprocess än Ringsjöverket. Händelsen var intressant att följa i syfte att se hur den bakteriella sammansättningen i vattnet skulle förändras. Ett viktigt verktyg för att följa inblandning av Vombvatten i Lunds ledningsnät var att följa resultatet av kemiska parametrar. Figur 16 visar alkalinitet och totalhårdhet (^{o}dH) som är distinkt för Bolmen- respektive Vombvatten. Ringsjöverkets utgående vatten har en alkalinitet på 45 mg/l och totalhårdhet på 3,5 ^{o}dH, till skillnad från Vombverkets utgående vatten med en alkalinitet på 150 mg/l och totalhårdhet på 6,5 ^{o}dH. Omkopplingen till Vombvatten visade sig som en skarp ökning av båda parametrar (prover tagna vid Källby VV). I reservoarerna vid Norra verket och Östra torn ökade alkaliniteten och totalhårdheten men det var tydligt att Vombvattnet blandades ut med det vatten som fanns kvar i systemet sedan tidigare.



Figur 16 *Alkalinitet och totalhårdhet vid olika provpunkter under veckorna 41-47. Resultaten visar inblandning av Vombvatten i ledningsnätet. Under vecka 44 kopplades ledningen från Ringsjöverket tillbaka och Lund förseddes återigen med Bolmenvatten.*



Figur 17 *Totalantalet bakterier (TCC) per ml under veckorna 41-47 på sex provpunkter i Lund med omnejd. Under vecka 44 kopplades ledningen från Ringsjöverket tillbaka och Lund förseddes återigen med Bolmenvatten.*

I den flödescytometriska analysen kunde bytet av vattenkälla ses tydligt (Figur 17). Utgående vatten från Vombverket innehöll under oktober-november 2021 kring 500 000 TCC/ml till skillnad från vattnet från Ringsjöverket (150 000 TCC/ml). Under omkopplingen uppmättes en tydlig förändring i både TCC och ICC direkt efter det att Vombvattnet nådde Lund, framför allt i provpunkterna närmast vattenverket. När ledningsarbetet avslutades fick Lund åter vatten från Ringsjöverket, vilket gav en tydlig effekt för provtagningspunkten Källby VV där TCC samt ICC återgick till samma låga nivåer som innan omkopplingen. En liknande återgång sågs även på proverna från Fågelsång TR och Flyinge TS. På Norra verket var resultaten högre jämfört med veckan innan omkopplingen. Detta kan bero på kvarvarande Vombvatten i reservoaren, vilket omsattes under efterföljande veckorna tills det i vecka 47 åter nådde normalvärden. Skillnaden mellan ”vattensorterna” var mindre tydlig för resultaten från fingeravtryck och kemiska parametrar i reservoaren och i provtagningspunkter senare i systemet.

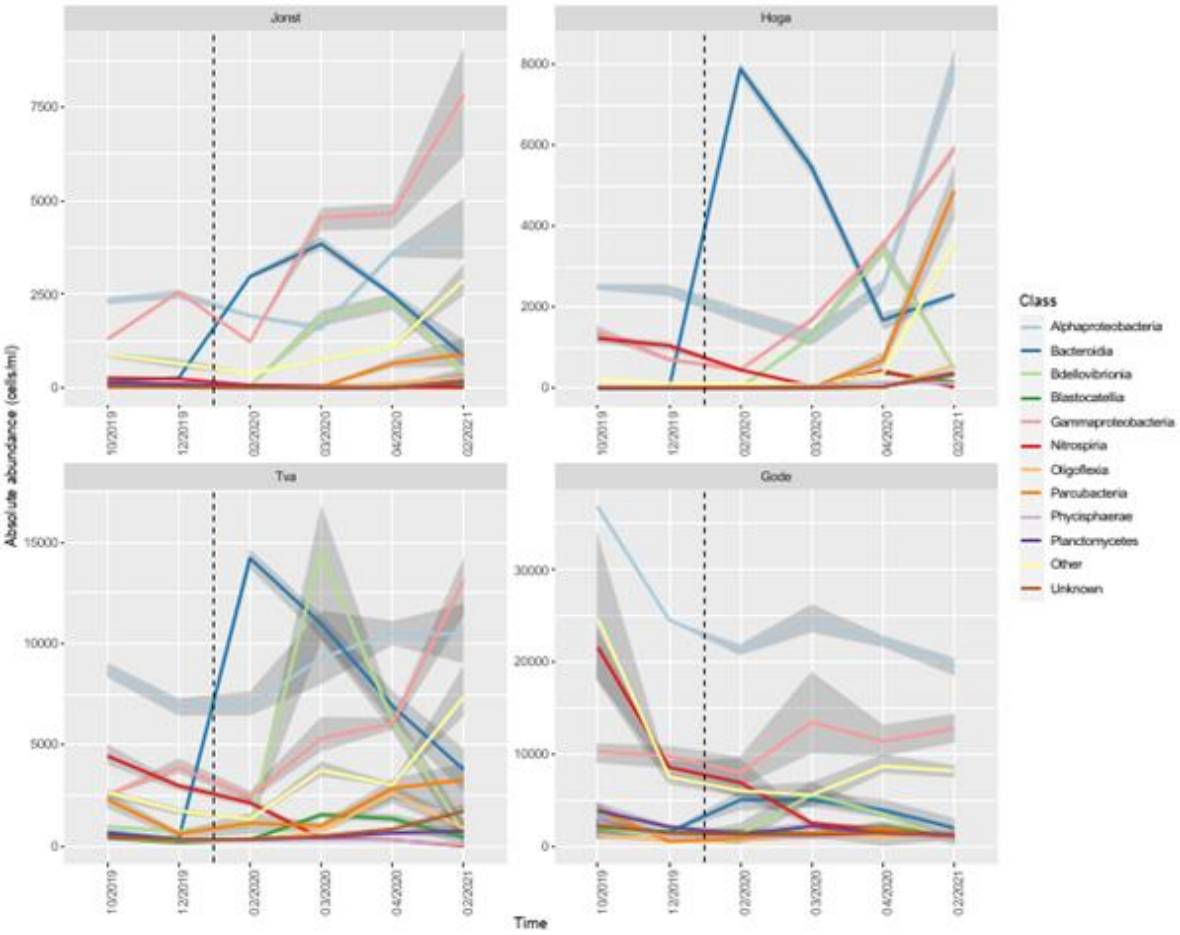
Lika snabbt som förändringen kom, försvann den också igen vid återgång till Ringsjövatten. Vår slutsats är att systemet, inkluderande biofilmen i ledningarna, är så pass biologiskt stabilt att ett byte av vattenkälla under en veckas tid inte skapar bestående mikrobiella förändringar i systemet.

Komponent 4.3 – Utvärdera förmågan att utifrån molekylära biomarkörer förutsäga vattenkvalitet och risk.

I samverkan med Vivab och FOI studerar Lunds universitet i SVU-projektet 19-102 utfasningen av monokloramin i Varbergs distributionssystem. Borttagandet av kloramin ledde till en tämligen omgående och tydlig mikrobiell respons i Varbergs distributionssystem inklusive i vattenverkets två lågreservoarer. Eftersom det ultrafiltrerade permeatvattnet i Kvarnagårdens vattenverk är praktiskt taget cellfritt, härstammar dricksvattnets mikroorganismer framförallt från biofilmen i reservoarer och ledningsrör. Det bör framhållas att kloraminmängderna som användes i Varberg var låga (0,13 – 0,21 mg/L) och att kloramin inte kunde påvisas i ytterområdena på distributionssystemet t.ex. i provtagningspunkt Godst. Den första registreringen av ökade bakteriehalter enligt den automatiska FCM-mätningen på utgående vattenverksvatten var den 18 februari 2020, dvs. en månad efter borttagandet av monokloramin. Ökningen observerades därefter i de manuella FCM-mätningarna från de centrala distributionsområdena (Jonst och Tvaak) samt i den norrgående ledningen mot Ringhals kärnkraftverk (provtagningspunkt Hoega), dvs. från områden som tidigare påverkats av kloramin. Förutom stigande bakteriehalter (TCC) så indikerade de ökade HNA-värdena redan i slutet av januari även en förändrad bakteriesammansättning i utgående dricksvatten.

Dna-analys verifierade en faktisk taxonomisk florafördring i prover tagna den 18-20 februari (Figur 18), dvs. vid samma tidpunkt som man konstaterade en TCC-ökning på utgående vattenverksvatten. En närmare analys visade att flertalet bakterieklasser redan vid denna tidpunkt hade förändrats betydligt. Exempelvis sågs en ökning av klasserna *Bacteroidia*, *Bdellovibrionia* och *Parcubacteria* i dricksvattnet och en minskning av bakterier tillhörande klasserna *Alphaproteobacteria* och *Nitrospiria*. Med tanke på förändringarnas omfattning är det rimligt att anta att de initierades kort efter borttagandet av monokloramin den 20 januari 2020. Den automatiska FCM-analysen på verkets utgående dricksvatten visade att den nedåtgående %HNA-trenden avbröts abrupt vid tiden för kloraminutfasningen för att därefter temporärt stiga från 65 % till 90 %. I juni månad började andelen HNA-bakterier minska från 55 – 90 % till 45 – 65 %, vilket betydde att andelen LNA-bakterier ökade. Flertalet av de bakteriesläkten som frisattes från biofilmen efter är typiska HNA-bakterier såsom de kloraminselekterade *Nitrosomonas*, *Nitrospira* och *Hyphomicrobium*.

Den ökade frisättningen av biofilmsbakterier gav också utslag på mängden odlingsbara mikroorganismer och långsamväxande bakterier i perioden april-juni där gränsvärdet överskreds i några enstaka prover. Den kortvarigt högre förekomsten av HPC kan kopplas till den ökade frisättningen/utfasningen av heterotrofa biofilmsbakterier såsom *Sphingomonas*, *Flavobacterium* och *Pseudomonas*, men temperaturökningen i ledningsnätet samt den förstärkta tillväxten hos tidigare klorundertryckta bakterier hade också betydelse. Frånvaron av klor ökade alltså generellt biofilmens tillväxtpotential och gav högre referensvärden för TCC i de centrala distributionsområdena. I juli återgick HPC till några enstaka cfu per ml vilket bekräftar att händelsen med högre HPC-förekomst var kopplad till biofilmsresponsen våren 2020 och inte till de nya högre TCC- och ICC-värdena.

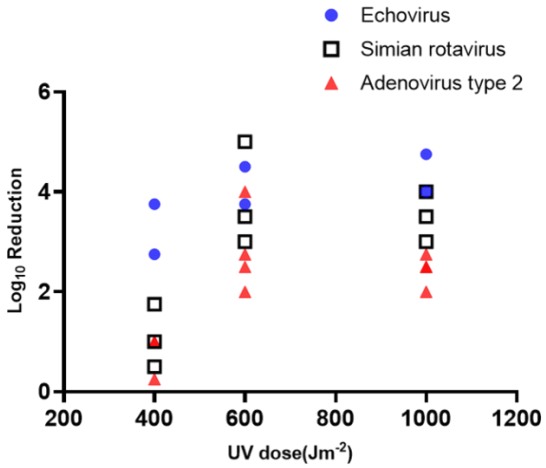


Figur 18 *Den taxonomiska förändringen på klassnivå över tid i provtagningspunkterna Jonst, Hoega, Tvaak och Godst. Y-axeln visar "absolute abundance" i celler per ml enligt Props et al. (2017). X-axeln visar de sex provtagningstidpunkterna (månad/år). Klasser som inte uppfyller kriterierna att ha minst 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. Triplikat av prov togs med monokloramin i distributionssystemet vid två tillfällen (29-30/10-2019 och 17-19/12-2019) och efter utfasningen av monokloramin vid fyra tillfällen (18-20/2-2020, 23-25/3-2020, 21-23/4-2020 och 15-17/2-2021).*

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, där *Bdellovibrio*, *Methylotenera* och *Parcubacteria* samt de dåligt beskrivna bakteriegrupperna Ellin6067, Rhizobiales Incertae Sedis och Tra3-20 ingår. Studierna i Varberg tydliggör att den artfattiga monokloraminselekterade biofilmen kan ersättas med en rikare mer naturlig biofilm som bl.a. består av ultramikrobakterier om man upphör med sekundär desinfektion. Ultramikrobakterier eller LNA-bakterier, brukar ibland kallas "microbial dark matter" eftersom de sannolikt utgör en stor del av jordens biomassa och starkt bidrar till den biologiska mångfalden. Länder såsom Nederländerna, Tyskland, Schweiz och Österrike har visat att man kan distribuera ett biologiskt stabilt och säkert

dricksvatten utan klortillsats om det kombineras med en effektiv vattenrening och modern mikrobiell övervakning.

SVU projektet ”Virus i dricksvatten - viabilitet och reduktion efter rening” fortsätter. Under 2021 utforskade pilotprojekt, med ett labbanpassat UV-aggregat från Lunds universitet, hur olika doser påverkade logreduktion av 3 olika virus. Adenovirus typ 2 (dubbelsträngat DNA), simian rotavirus (dubblesträngat RNA) och echovirus 30 (enkelsträngat RNA) i dricksvatten var exponerade 400 J/m2, 600 J/m2 and 1,000 J/m2 UV, beräknat med flödesinformation genom en labskala Aquada 1 UV reaktor (figur 19). Infektion av virus med dubbelsträngat DNA och RNA minskade inte med den lägsta doseringen, vilken är det som används idag i dricksvattenberedning.



Figur 19 UV-desinfektionseffektivitet för UV-doser, 400 J/m2, 600 J/m2 och 1000 J/m2 mot echovirus 30, rotavirus och adenovirus typ 2 i dricksvatten.

Det skedde också stora insatser till en stor provtagningskampanj på vattenverken under 2021. Norrvatten, Stockholm Vatten och Avlopp, Sydvatten, VIVAB och Norrköping Vatten och Avfall tog vattenprover från 7 olika vattenverk och vid sex olika tidpunkter under 2021. Filtersatser är lagrade på Göteborgs universitet (koncentraten av virus från 10 000 liter vatten) och väntar på DNA extraktioner och ska sen vidare till bioinformatik för analys 2022.

Inom ramverk av SVU-UV projektet har försöksmetodiken för kemisk desinfektion utvecklats av Kretslopp och vatten och GU med stöd av Olof Bergstedt i DRICKS. Svårigheterna var att tillsatserna av humanpatogena virus innebär att tillväxtmedium för värdcellerna minskar desinfektionseffekterna och begränsningar i hur mycket virus som kan propageras. Dessa har hanterats med val av tillsatser, spädning och analyser av delvolymer. De skarpa försöken utfördes i huvudsak hösten 2021 och avslutades i början av 2022. De externa bearbetningar som behövs väntas vara klara första halvåret 2022. Då utvärderas dessa och den vetenskapliga publiceringen bör kunna ske under hösten 2022 liksom avrapportering till SVU.

Förståelse bakom hur vi kan kombinera flödescytometri, traditionell mätning av mikrobiologisk vattenkvalitet, och maskininlärning har haft nytta också från ett projekt om källspårning, som utfördes tillsammans med NSVA, Sweden Water Research, Helsingborg stad m.fl i projektet Urbana Bad. Trots att det inte direkt handlar om dricksvatten, så kan tekniken bakom FCM datahantering vara applicerade i framtiden för att koppla traditionell mätning till FCM. Data från 60 flödescytometri

profiler jämfördes och delades upp i olika variabel (Figur 20). Iteration av funktionsval började med endast en funktion, och gick igenom alla 50 funktionerna. Att välja 4 funktioner itererande genom alla möjliga kombinationer, gav ett totalt minimum motsvarande en klassificeringsnoggrannhet på 88 %. Tillsammans är dessa samarbetsfunktioner som optimerar *E. coli* förutsägbara via den logistiska regressionsalgoritmen. Alla fyra funktionerna, såväl som skärningsvärdet, var statistiskt signifikanta med p-värden <0,05. Den bästa noggrannheten som erhölls var 88 +/- 6 %, med känslighet = 0,9 och specificitet = 0,85 vilket man kan tolka som att ungefär 85% av tiden kan man förutspå detektion av E. coli (genom traditionella odlingsbaserade metoder) i badvattnet. Det intressanta är att det inte var de delar av flödescytometri-data med mest data, men regioner utifrån med många mindre celler som var mest viktiga för att förutsäga *E. coli.*

Figur 20 Flödescytometri-profiler som jämförs och delas upp i olika variabler

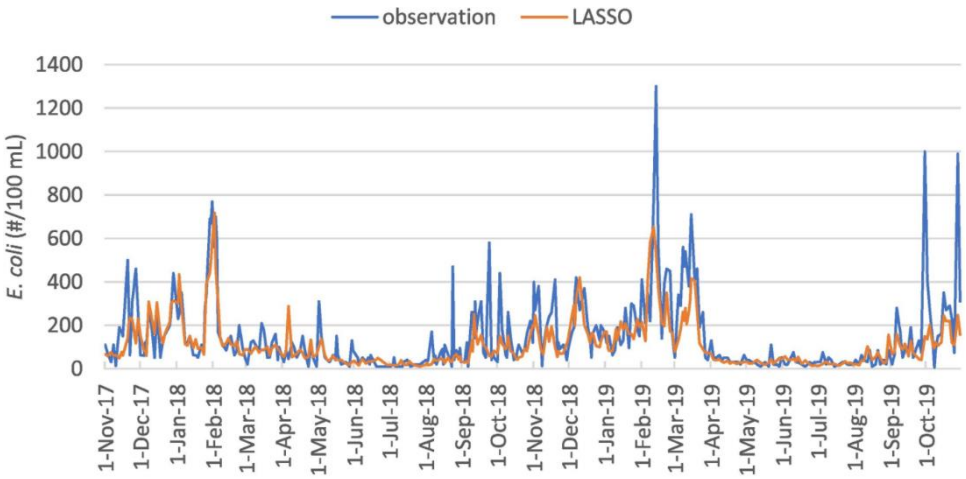
Genom användning av specifika mikrobiologiska analysverktyg tillsammans med maskininlärning, kan Sveriges dricksvattenproducenter får stöd för beslut som kan vara både snabba och ha statistisk förstärkning bakom deras bedömningar. Vi har kontinuerligt expanderat användningen av flödescytometri (FCM) för effektivare övervakning av vattenkvalitet och distributionssystemet, i samarbete med Högskolan i Kristianstad och Sydvatten, VASYD, VIVAB och Norrvatten.

3.5 Arbetspaket 2021 – nya satsningar (AP2021)

Komponent 2021.1. Uppströmsarbete råvattenskydd och påverkan av dagvatten

Snabba förändringar i mikrobiell vattenkvalitet i ytvatten innebär utmaningar för produktion av säkert dricksvatten. Om de inte behandlas till en acceptabel nivå kan mikrobiella patogener som finns i dricksvattnet leda till allvarliga konsekvenser för folkhälsan. Syftet med det projektet var att utvärdera lämpligheten av datadrivna modeller av olika komplexitet för att förutsäga koncentrationerna av *E. coli* i Göta älv vid råvattenintaget till vattenverket i Göteborg. Det arbetet genomfördes som en del i det Formas-finansierade ClimAQua projektet under ledning av Ekaterina Sokolova vid Chalmers och i samarbete med Göteborg Kretslopp och Vatten. Målen var att (i) bedöma hur komplexiteten i modellen påverkar modellens prestanda; och (ii) identifiera relevanta faktorer och bedöma deras effekt som prediktorer för *E. coli*-nivåer. För att förutsäga *E. coli*-nivåer en dag i förväg användes data om laboratoriemätningar av *E. coli* och totala koliformer, Colifast-mätningar av *E. coli*, vattentemperatur, grumlighet, nederbörd och vattenflöde. Metoderna inkluderade exponentiell utjämning och ARIMA (Autoregressive Integrated Moving Average), som är vanliga univariata metoder, och en naiv baslinje som använde det tidigare observerade värdet som

nästa förutsägelse. Dessutom inkluderades vanliga modeller inom maskininlärningsdomänen: LASSO (Least Absolute Shrinkage and Selection Operator) Regression (figur 21) och Random Forest, och ett verktyg för att optimera pipelines för maskininlärning – TPOT (Tree-based Pipeline Optimization Tool). Dessutom inkluderades en multivariat autoregressiv modell VAR (Vector Autoregression). Modellerna som inkluderade flera prediktorer presterade bättre än univariata modeller. Random Forest och TPOT resulterade i högre prestanda men visade en tendens till överanpassning. Vattentemperatur, mikrobiella koncentrationer uppströms och vid vattenintaget samt nederbörd uppströms visade sig vara viktiga prediktorer. Datadriven modellering gör det möjligt för vattenproducenter att tolka mätningarna i sammanhanget av vilka koncentrationer som kan förväntas baserat på de senaste historiska data, och därmed identifiera oförklarade avvikelser som motiverar ytterligare undersökning.



Figur 21 Tidsserier av observerade data och modelleringsresultat för testperioden för modellen Least Absolute Shrinkage and Selection Operator (LASSO) Regression.

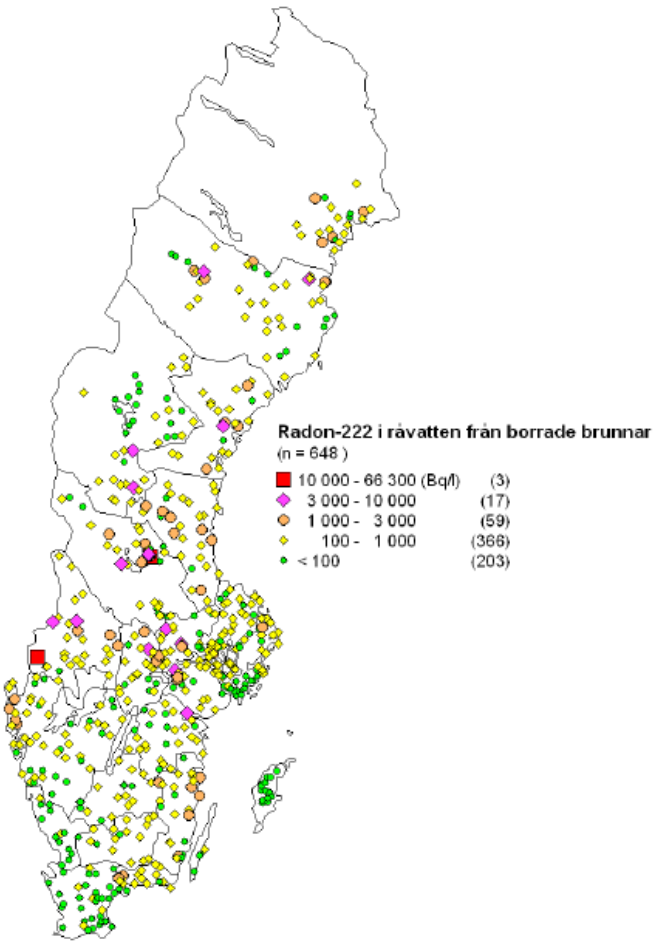
De antropogena aktiviteterna på avrinningsområdena bidrar med fekala föroreningar till ytvattnet. Dessa aktiviteter förväntas förändras i framtiden på grund av socioekonomisk utveckling men också på grund av klimatförändringar som förändrar de hydrologiska förhållandena. För att bedöma effekten av framtida förändringar på mikrobiella koncentrationer relaterat till hydrologiska processer kan en användbar metod vara att använda Shared Socioeconomic Pathways (SSP) tillsammans med Representative Concentration Pathways (RCP) och ett hydrologiskt modelleringsprogram som ArcSWAT. Inom ett examensarbete vid Chalmers utfört av Erik Söderlund och Mathias Lennartsson har effekten av socioekonomiska förändringar och av klimatförändringar på den mikrobiella vattenkvaliteten i Mälarens avrinningsområde undersökts. Detta gjordes genom att identifiera fekala föroreningskällor, sätta upp ett baslinjescenario och utveckla och inkludera framtidsscenarier. Baslinjescenariot simulerades i ArcSWAT för perioden 2010-2020, och framtidsscenarierna simulerades för två tidsperioder, 2040-2050 och 2090-2100. Enligt modelleringsresultaten skulle ett scenario med hög nivå av anpassningar (förbättrad avloppsvattenrening, buffertzoner och minskad vattenanvändning) generellt minska koncentrationerna av *E. coli* och *Cryptosporidium*, medan ett scenario med lägre nivå av anpassningar generellt sett skulle ha liknande koncentrationer jämfört med baslinjescenariot. Scenarier med enbart klimatförändringar skulle också generellt ha liknande koncentrationer jämfört med baslinjescenariot. Man kan läsa mer om det arbetet här: https://hdl.handle.net/20.500.12380/304061

Spridningen av Poly- och perfluorerade alkylsubstanser (PFAS) är ett globalt problem sedan de har upptäckts i vattenmiljöer i hela världen och kan ha negativ effekt på människors hälsa. Den största exponeringsvägen för människor är dricksvatten. Höga halter av PFOS, en av de mest skadliga typerna av PFAS, har upptäckts i Ekoln - en del av Mälaren, och dess omgivande miljö. Syftet med ett examensarbete vid Chalmers utfört av Amanda Hansson och Elin Josefsson var att analysera den aktuella och framtida spridningen av PFOS i Ekoln. Källor till PFOS i området, och processer som påverkar spridningen av PFOS undersöktes. Hydrodynamisk modellering i MIKE 3FM användes för att simulera aktuell spridning av PFOS i sjön, men också för att undersöka framtida förhållanden med avseende på klimatförändringar och socioekonomisk utveckling. Framtida scenarier sattes upp för år 2050 där klimatförändring beskrevs av Representative Concentration Pathways (RCPs) och socioekonomisk utveckling av Shared Socioeconomic Pathways (SSPs). Stora källor till PFOS i Ekoln är brandövningsplatser där brandskum som innehåller PFOS har använts, och avloppsreningsverket Kungsängsverket. Fyrisån tar emot vatten från båda dessa källor och antas vara den största transportvägen för PFOS som når Ekoln. Klimatförändringar kommer inte påverka situationen med PFOS anmärkningsvärt fram till 2050 medan socioekonomisk utveckling kommer ha större påverkan; koncentrationen av PFOS antas minska, dock olika mycket i de olika SSP-scenarierna. Med hänsyn till situationen med PFOS är vattenkvalitén tillräcklig för att använda Ekoln som dricksvattentäkt, och kommer kvarstå år 2050, enligt nuvarande föreskrifter. Dock kan andra typer av PFAS vara lika farliga som PFOS varför forskning på spridningen av PFAS i området bör fortsätta. Man kan läsa mer om det arbetet här: https://hdl.handle.net/20.500.12380/303584

Komponent 2021.2. Radioaktiva ämnen i grundvattentäkter

Radioaktiva ämnen i grundvatten har tidigare uppmärksammats i olika studier i Sverige av exempelvis Sveriges Geologiska Undersökning (SGU) och Strålskyddsinstitutet (SSI). Områden med ökad förekomst av radioaktiva ämnen i grundvatten är områden med radioaktiv berggrund, exempelvis granitberggrunden i norra Bohuslän, berggrunden i den s.k. Siljansringen och i berggrund med förekomst av alunskiffer, exempelvis på Öland och i Västergötland. Radioaktivitet i grundvatten förekommer också i områden med radioaktivt material i morän eller isälvsavlagringar.

Genomförda studier visar inte alltid på tydlig korrelation mellan radioaktivitet i de geologiska formationerna och grundvattnet. Detta beror på olika förutsättningar vad gäller grundvattenbildning, grundvattnets omsättningstid, mm. I figur 22 visas förekomsten av radon-222 i grundvatten.



Figur 22 Översikt över radon-222 i råvatten från bergborrade brunnar (Källa: SSI Rapport 2008:15).

Radioaktivitet i grundvatten har tidigare betraktats som ett större problem för privata brunnar än för kommunala, exempelvis i Siljansområdet. Studier från början av 2000-talet (Falk et al., 2004)[1] indikerade att koncentrationerna av radionuklider i dricksvatten från kommunala vattenverk vanligtvis inte ledde till att den s.k. indikativa dosen (0,1 mSv y^{-1}) överskreds och därför inte medför någon hälsorisk. Sedan 2015 ska dock screening (enligt Euratom Drinking-Water Directive; EC, 2013) genomföras av radioaktivitet i dricksvattenverk. Halterna av radioaktiva ämnen får inte medföra att den indikativa dosen (0,1 mSv y^{-1}) överskrids, vilket därmed i praktiken utgör ett gränsvärde.

Tidigare studier (ex Falk et al, 2004) omfattade ett begränsat urval av kommunala vattentäkter. Förekomst av radioaktiva ämnen har påvisats sedan dess och rapporterats exempelvis till Vattentäktsarkivet som administreras av SGU. Detta innebär att det idag finns ett betydligt större dataunderlag än för 15-20 år sedan.

För att lägga en grund för eventuella fortsatta forskningsinsatser rörande förekomst av radioaktiva ämnen i kommunala grundvattentäkter och dess hälsorisker genomförs följande arbete under ledning av Lars Rosén vid Chalmers:

[1] Falk, R., Mjönes, L., Appelblad, P., Erlandsson, B., Hedenberg, G. & Svensson, K., 2004. Kartläggning av naturligt radioaktiva ämnen i dricksvatten. SSI Rapport 2004:14. Stockholm, Statens strålskyddsinstitut, 23 pp. Tillgänglig på http://www.ssi.se.

1. Genomgång av litteratur och SGUs databaser rörande förekomst av radioaktiva ämnen i svenska dricksvattentäkter (grundvatten).

2. Utifrån litteraturgenomgång av olika ämnens toxicitet utvärdera behovet av att inkludera radioaktiva ämnen i hälsoriskbedömningar och hur eventuell hantering av radioaktiva ämnen bör ske vid och efter beredning.

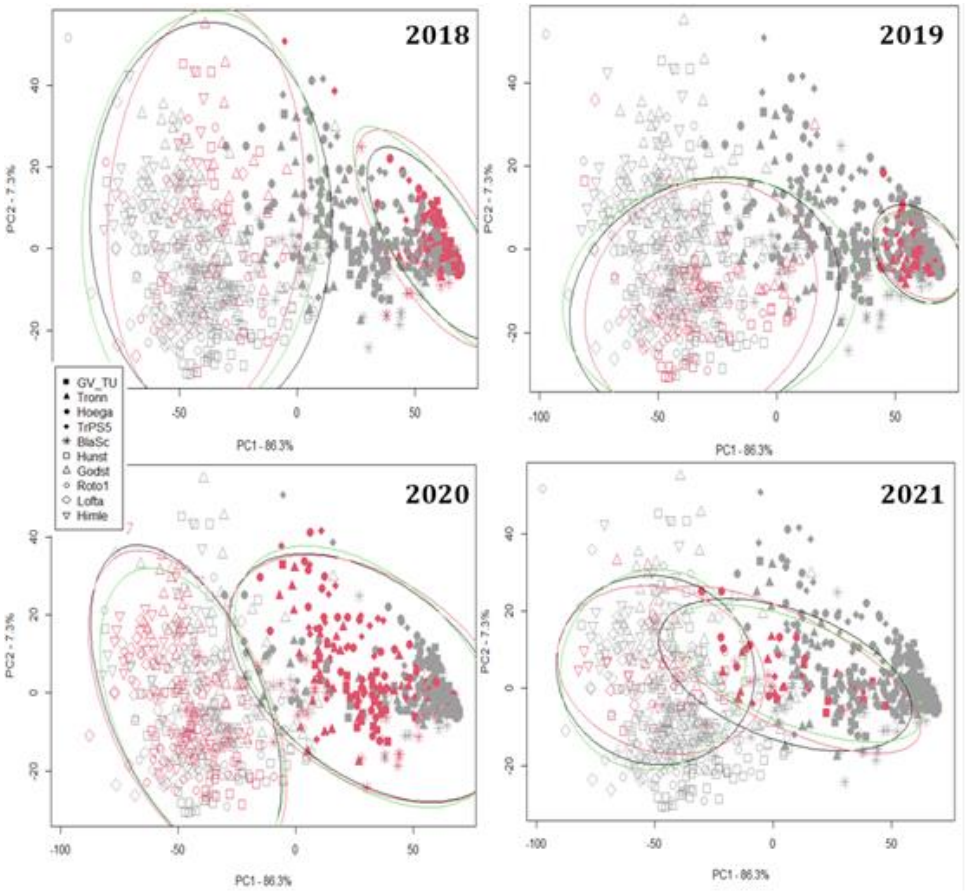
Arbetet omfattar följande huvudsakliga moment:

- Gå igenom SGUs vattentäktsarkiv
- Kategorisering utifrån ex:
    - Geologisk miljö
    - Vattentäktens storlek
    - Halters tidsmässiga variation
- Uppskatta indikativ dos utifrån tillgänglig information om halter för radioaktiva ämnen, vilket indikerar risknivå och därmed behov av fortsatta studier och åtgärder.

Arbetet har påbörjats och kommer att pågå också under 2022.

Komponent 2021.3. Renar vi vårt dricksvatten för mycket?
I den här komponenten frågade vi hur mycket beredning behövs egentligen för att fortfarande leverera dricksvatten som är både säkert och av hög kvalitet. Kan det vara möjligt att använda kemikalier och andra beredningsprocesser på ett smartare sätt och bidra till mer hållbar dricksvattenproduktion?

Hur användning av klor påverkar biostabiliteten i ledningsnätet var en del av arbete inom SVU 19-102 och en mindre fallstudie inom DRICKS. Tillsammans med VIVAB, Högskola Kristianstad och Lunds universitet som projektledare, har biofilms påverkan på dricksvattens biologiska karaktär visualiserats. Eftersom VIVAB använder ultrafiltrering i vattenverk är det utgående vattnet från vattenverk nästan cell-fritt. Det betyder att alla celler upptäckta genom flödescytometri i ledningsnät har ursprung i biofilmen. 866 FCM (flödescytometrii) fingeravtryck har jämförts med baslinjerna och visade tydliga förändringar i bakteriesamhället efter MCA (monokloramin) tagits bort i januari 2020. Procentandelen bakterier med hög nukleinsyrahalt (HNA) minskade vid alla provtagningspunkter. Dessa förändringar visualiserades med PCA med bootstrapping för att definiera en “konfidensyta” av 95% (figur 23).



Figur 23 FCM data som beskriver bakterier i vattnet med ursprung från biofilm från innan (2018, 2019) och efter (2020, 2021) monokloramin tagits bort från ledningsnätet. Varje datapunkt är en FCM profil av ett vattenprov. Fem punkter var exponerade för MCA före avlägsnandet (GV_TU, Tronn, Hoega, TrPS5, BlaSc) och fem punkter hade inte exponerats (Hunst, Godst, Roto1, Lofta, Himle). Diagrammen visar alla datapunkter (grå) med röd markering av datapunkterna för respektive år.

En tydlig förändring var synlig i data från februari 2020 och den mikrobiella vattenkvaliteten stabiliserades sommaren 2020 bortsett från vanliga säsongstrender. Separationen mellan de två klustrar beräknades (figur 23). Genom att bearbeta FCM data på det viset kunde dynamiken i biofilm över fyra år och 10 olika provtagningspunkter bli förenklad i ett diagram som kan lätt tolkas som att biofilmer förändras inte så mycket längre och har stabiliserats sedan perioden av monokloramins utfasning. Tillsammans med DNA-sekvensering (se komponent 4.2) kan vi se att tillsättning av monokloramin inte var nödvändig i det systemet och att användning av kemikalier i den kontexten inte behövdes. Inga risker blev upptäckta under tiden efter monokloramins borttagning, och flödescytometri visar att vattenkvaliteten ser mer jämn ut genom hela ledningsnätet än innan. Det är också viktigt att notera att det var möjligt att ta bort monokloramin tack vare ett nytt beredningssteg i vattenverket (ultrafiltrering). Så frågan är kanske “Hur renar vi bäst?” och inte “Renar vi för mycket?” i den här kontexten.

Ett samarbete mellan Sydvatten, Lunds universitet, Livsmedelsverket och Totalförsvarets forskningsinstitut började med en provtagningskampanj i början av 2021 för att lista ut hur avstånd från vattenverket kan påverka risk och vattenkvalitet i byggnader. Prover DNA sekvenserades under hösten 2021 med shotgun metagnomik analys och kommer tolkas m.h.a. bioinformatik under 2022.

Biotillgängligt organiskt kol som lätt kan konsumeras av heterotrofa bakterier, så kallat assimilerbart organiskt kol (AOC), är en viktig drivkraft för mikrobiell tillväxt i lagringstankar och distributionssystem för dricksvatten, vilket påverkar dricksvattnets säkerhet och estetik. AOC spåras dock sällan i dricksvatten på grund av bristen på praktiska och prisvärda mätmetoder. I det projektet undersöker vi en helt ny metod för att kvantifiera AOC i dricksvatten, baserad på bakteriell syreförbrukning som upptäcks med hjälp av ett sensornätverk. Vi undersöker innovativa sätt att kalibrera sensorer genom att kombinera avancerad signalanalys med maskininlärning. Vårt långsiktiga mål är att utveckla en hållbar teknik till överkomligt pris för att säkerställa att dricksvatten är säkert.

Projektet leds av Kathleen Murphy vid Chalmers institutionen för arkitektur och byggteknik. Tomas McKelvey vid avdelningen för elektroteknik samarbetar i projektet. Dessutom har en laboratorietekniker och två studenter arbetat på deltid under 2021. Nio experiment genomfördes för att generera data för projektet (tabell 1. Under varje experiment mättes syreförbrukningen av 48 nätverkssensorer i dricksvattenprover som hölls vid konstant temperatur i 4-5 dagar.

Tabell 1 AOC-experiment som genomfördes 2021

	Datum (2021)	**Provkälla (DWTP)**	**Sensor dish # (n)**	**Provtyp/ behandlingar**
1	18-feb	Kungälvs Kommun	851 (24)	Råvatten, biofilter 1, kolfilter, utgående, 4 x acetatstandarder (250/500/1000/2000)
2	2-mar	Kungälvs Kommun	851 (24)	Råvatten, biofilter 1-3, 4 x acetatstandarder (100/200/500/1000)
3	20- mar	Kungälvs Kommun	851 (24) 875 (24)	Råvatten, biofilter 1-3, 4 x acetatstandarder (100/200/1000/2000)
4	29-mar	Kungälvs Kommun	851 (24) 875 (24)	Råvatten, biofilter 1-3, kolfilter, utgående, 6 x acetatstandarder (20/50/100/200/500/1000)
5	21-maj	Kungälvs Kommun	851 (24) 875 (24)	Filtrerad kontra ofiltrerad: Råvatten, biofilter 1-2, kombinerat filter, kolfilter, utgående
6	8-jun	ViVAB	851 (24) 875 (24)	Tolv lokaler i Varbergs distributionsnät
7	22-june	ViVAB	851 (24) 875 (24)	Åtta lokaler i Varbergs distributionsnät och 4 x acetatstandarder (50,100,200,500)
8	6-july	ViVAB	851 (24) 875 (24)	Åtta lokaler i Varbergs distributionsnät och 4 x acetatstandarder (50,100,200,500)
9	20-july	ViVAB	851 (24) 875 (24)	Åtta lokaler i Varbergs distributionsnät och 4 x acetatstandarder (50,100,200,500)

Projektet har tagit fram algoritmer för att bearbeta och tolka sensorprofilerna. Vårt fokus har varit att utveckla automatiserade metoder för att få fram syreförbrukning och syreförbrukningshastighet som endast motsvarar den exponentiella tillväxtfasen för mikroorganismer. Detta förblir en utmaning eftersom signalerna är mycket små i jämförelse med störningar. Interferenserna kommer från en rad olika källor, bland annat sensordrift, bakgrundssyreförbrukning och temperaturförändringar.

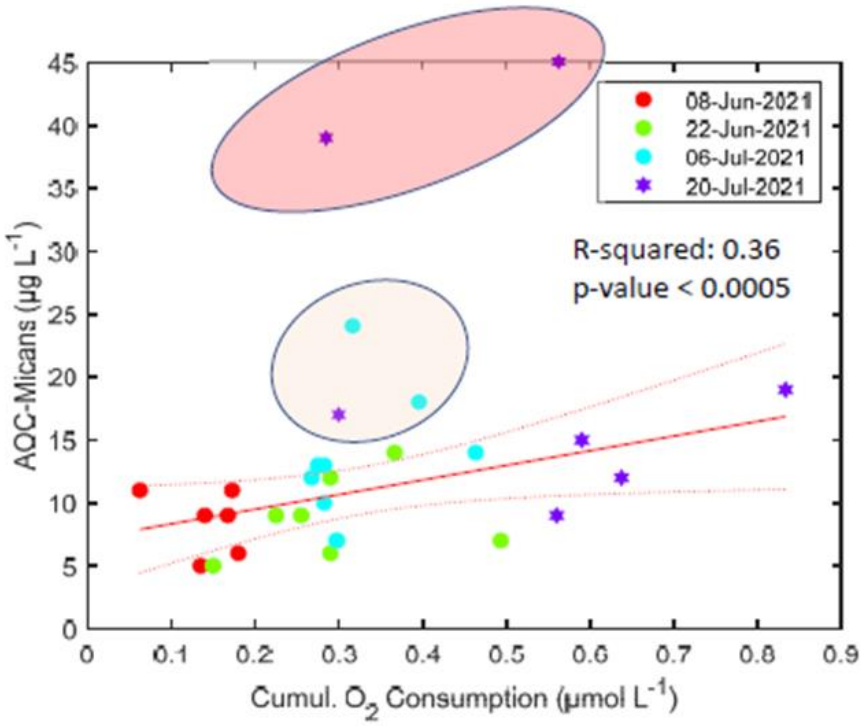
När det gäller algoritmutvecklingen är de viktigaste frågorna för ytterligare undersökningar följande:

· Hur kan man förbehandla sensorprofilerna och automatisera upptäckten av avvikande värden?

· Hur kan man bestämma baslinjen från den inledande delen av sensorprofilerna för att få fram korrekta mätningar från kortare experiment?

· I vilken utsträckning kan avvikelser i en sensorprofil kännas igen från tidigare beteende hos samma sensor?

Flera experiment gjordes för att jämföra den nya metoden med traditionell AOC mätning vid Micans. Allmänt fanns det en tydlig korrelation mellan de två, men några allvarliga avvikelser kunde konstateras, särskilt i distributionsnätet (ballonger i figur 24). Dessa avvikelser kommer ligga i fokus under framtida forskningsaktiviteter med finansiering från det nationella forskningsprogrammet (Formas), Gustaf Rickerts Stiftelse, och Lisshedsstiftelse.



Figur 24 Jämförelse mellan den nya sensormetoden och de traditionella AOC mätningar under provtagning i ViVAB:s ledningsnät, sommar 2021.

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 2021 arrangerades ett DRICKS-internat, tre seminarier, en workshop och fyra DRICKS-möten. Alla skedde digitalt på grund av den rådande situationen eftersom utbrottet av Corona har satt sin prägel även på 2021 och inte lika många seminarier och andra arrangemang kunde äga rum som vanligt.

DRICKS-internat 2021

Under 2021 var vi mitt inne i en pandemi så därför hölls DRICKS-internatet den 13-14:e januari helt digitalt via Zoom. Vid internatet deltog DRICKS berednings- och styrgrupper samt representanter från samtliga medlemskommuner och forskningsmiljöer via länk. Under inledningen presenterades information om årets internat, en summering av vad som hänt sedan föregående internat samt avtackning av Maria Svane, projektkoordinator på DRICKS. Pågående forskning inom DRICKS olika arbetspaket presenterades och sedan genomfördes ett flertal workshops. Den första workshopen dag 1 handlade om Beredning och distribution. Den andra workshopen som skedde under dag 2 handlade om Råvattenförsörjning och riskbaserat beslutsstöd.

Under internatet gavs även två presentationer. Den första handlade om Internationell utblick och framtida dricksvattenutmaningar och gavs av Oliver Schmoll, WHO Regional Office for Europe. Den andra presentationen som gavs var en inspirations-föreläsning om AI. Shirin Tavara från Chalmers började med en inledande introduktion till AI och sedan gav Simon Granath från VA SYD en Exemplifiering av AI inom VA.
Cirka 42 personer deltog under internatet.

DRICKS workshops/seminarium

<u>Workshop Biostabilitet och AOC-mätningar</u>
Den 20 april genomfördes en heldagsworkshop online med fokus på biostabilitet och AOC-mätningar. Under förmiddagen presenterades först en utvärdering av biostabilitet med olika analystekniker för organiska substrat av Elin Lavonen, dricksvattenspecialist på Veolia Water Technologies. Därefter höll Catherine Paul vid Lunds universitet, en presentation på ämnet *Putting the "bio" in biostability: microbes and nutritients in the drinking water distribution system.* Talis Juhna, professor inom water technology vid Riga Technical University följde med en presentation på ämnet *Biostability in chlorinated and potentially phosphorus limiting water systems: theory and practice.* Och avslutningsvis höll Kathleen Murphy vid Chalmers tekniska universitet en presentation på ämnet *New technologies for assessing biostability in drinking water.*
Sedan följde diskussioner kring framför allt AOC. Cirka 35 personer deltog i workshopen.

Biostabilitet i ledningsnätet
Den 9e mars bjöds DRICKS medlemmar in till en gästföreläsning av professor Talis Juhna som är verksam vid Riga Technical University. Talis tog bl. a upp biostabilitet, vattenkvalitet i distributionsnät samt korrosion och patogener i distributionsnät.

Beslutsstöd för framtida utmaningar inom dricksvattenförsörjning
Den 15e juni höll AP1 ett digitalt seminarium där syftet bl. a var att demonstrera ett nylanserat verktyg för att prioritera åtgärder inom dricksvattenförsörjningen samt presentera nya forskningsresultat som kan användas för att uppskatta de ekonomiska effekterna vid avbrott i dricksvattenleveransen. Verktyget benämns WISER *(Water Investments for Sustainability Enhancement and Reliability)* och är ett fritt tillgängligt och Excel-baserat verktyg, och under seminariet beskrevs bakgrunden till WISER, en demonstration för hur det kan användas samt resultat från en fallstudie. 108 personer deltog.

Oönskade ämnen i dricksvatten - från förekomst till risk
Den 3e december hölls ett digitalt seminarium där vi fick lära oss mer om oönskade ämnen i rå- och dricksvatten, alltifrån förekomst av antimikrobiell resistens till verktyg som uppskattar toxisk effekt och jämför exponering. Karin Wiberg vid SLU hälsade välkomna och sedan tog Foon Yin Lai, biträdande lektor vid institutionen för vatten och miljö på SLU vid och pratade om *Antimicrobial resistance in drinking water reservoirs.* Maria Yu, doktorand vid institutionen för biomedicin och veterinär folkhälsovetenskap vid SLU berättade därefter om *Untapping the potential of effect-based methods in drinking water production – a Swedish example.* Avslutningsvis fick vi höra om *Risktermometern – ett verktyg som jämför exponering för kemiska ämnen* i presentation av Salomon Sand, toxikolog på Livsmedelsverket. Diskussion och frågestund rundade av seminariet.

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 (2021-02-11)
Dr. Martin Wagner från TZW i Dresden gav en presentation kring hur automatiserade algoritmer kan användas för att förutse vattenförbrukning och identifiera läckage. Titeln på Martins presentation var: *"Two examples for use of automated algorithms in drinking water production: Water demand and peak forecast and water use and loss analysis".*
Stephan Köhler och Thomas Pettersson var intresserade av att söka pengar för att kunna genomföra en liknande studie i Sverige då man såg att det kan vara till nytta för svenska vattenproducenter. De uppmanade forskare och vattenproducenter som var intresserade att höra av sig till dem.
32 personer deltog digitalt.

DRICKS-möte (2021-05-04)
Rikard Tröger och Johan Lundqvist presenterar sin forskning:

- Rikard Tröger, kemist inom projektet SafeDrink vid SLU, pratade om kemiska ämnen i rå- och dricksvatten samt reningen i vattenverken. Särskilt fokuserade han på en screeningstudie som jämförde råvatten och dricksvatten från vattenverk i Europa och Asien.

- Johan Lundqvist, docent i molekylär toxikologi vid SLU, berättade om ett nytt verktyg för att kartlägga kemiska hälsorisker i dricksvatten som bygger på effektbaserade metoder.
  36 personer deltog i mötet som hölls online via Zoom.

DRICKS-möte (2021-09-14)
Catherine Paul, Assoc. Professor vid Lunds universitet och Peter Asteberg, Norconsult, höll i ett möte på tema Återanvändning av vatten. Det presenterades två exempel på vattenåteranvändningsprojekt i Sverige; Catherine berättade om ett i Kivik och Peter om ett i Mörbylånga vattenverk (där Östersjövatten och processvatten från en livsmedelsindustri renas till kommunalt dricksvatten). Efteråt följde gemensam diskussion och frågestund. Cirka 25 personer deltog.

DRICKS-möte (2021-11-09)
På temat Utmaningar i råvattenförsörjningen hölls ett DRICKS-möte i november.

- Helene Ejhed, Norrvatten, berättade om *Kemiska och mikrobiella risker i Mälaren, vattenskydd och tidiga varningssystem.*
- Christian Alsterberg, Kävlingeåns vattenråd & Höje å vattenråd, presenterade *Lokal samverkan för en bättre vattenkvalité (Vombsjön).*
- Kristina Holm på Kretslopp och vatten Göteborgs stad avslutade med *Mot en ny kompletterande råvattentänkt med hjälp av leveranssäkerhetsanalys och kostnad-nyttoanalys.* Frågor och diskussion följde därefter.

Ytterligare konferenser
Den 26e november höll DRICKS företagsgrupp en introduktionsträff för beredningsgruppen, samordnad av Elin Lavonen på BioCell Analytica.

DRICKS Examensarbetsförslag och studentträffar
Under pandemiåret 2021 arrangerades det inget.

Vattenforskarskolans årliga möte
Vattenforskarskolan, där cirka 70 (2021) doktorander ingår, arrangerar ett årligt möte som på grund av pandemin var online i 2021. Föreläsare under mötet var Mikael Larsson, Svenskt Vatten, Anna Szekely, SLU and Shirin Tavara, Chalmers. Fokus under 2021 var att bygga på digitala nätverksmöjligheter så mycket som möjligt med korta presentationer av doktorander från alla kluster. DRICKS är en av partnerna i Vattenforskarskolan.

4.2 Vetenskaplig publicering, konferenser, möten, media
Under 2021 har forskningsresultat inom DRICKS publicerats i vetenskapliga artiklar i välrenommerade referee-granskade tidskrifter samt i ett antal tekniska rapporter. På grund av corona har tyvärr några konferenser där DRICKS skulle varit med blivit inställda eller uppskjutna.

Under året har fem doktorsavhandlingar publicerats inom DRICKS på följande teman:

- Moona, N. (2021). Assessing and optimizing biofilter performance in drinking water treatment.

- Cascone C. (2021). Optical sensors in drinking water production.
- Hägg, K. (2021). Modern artificial recharge plants.
- Menger, F. (2021). Hidden in the water: Development of screening strategies to identify new organic contaminants of emerging concern
- Tröger, R. (2021), Occurrence and removal of organic micropollutants in drinking water.

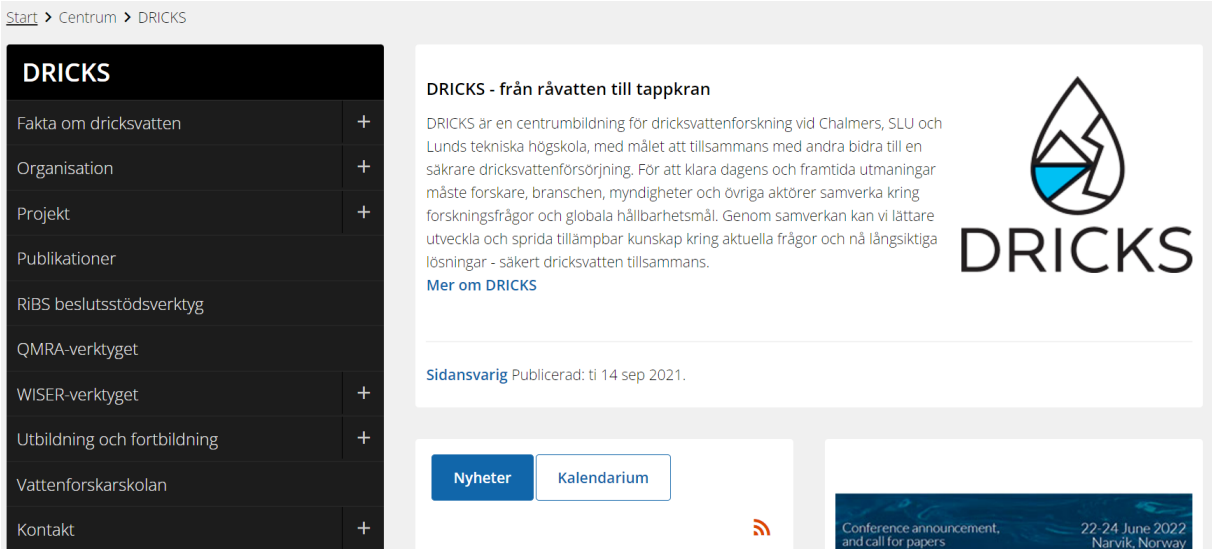
I kapitel 6 redovisas alla de publiceringar som genomförts inom DRICKS.

4.3 DRICKS hemsida och nyhetsbrev

DRICKS främsta kanaler för information om verksamheten samt populärvetenskaplig kommunikationen utgörs av vårt nyhetsbrev och hemsidan dricks.chalmers.se (se Figur 21). En naturlig följd av att tre 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 dricks.chalmers.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. Här beskrivs avslutade och pågående forskningsprojekt, forskarutbildning och undervisning och info om utförda och kommande exjobb.



Figur 25 DRICKS hemsida

Här beskrivs även hur vi skapar samhällsnytta, hur organisationen är uppbyggd och vilka forskare och experter som är knutna till DRICKS. Sedan 2021 kommer man även åt dricks hemsida genom adressen www.dricks.se.

Arbetet med hemsidan och dess innehåll är ett pågående arbete, både i fråga om utveckling av

strukturen och om publicering av innehåll. Hemsidan är hemvist för en del av innehållet som sedan puffas ut i nyhetsbrevet. Målet med hemsidan är att våra identifierade målgrupper relativt enkelt ska kunna finna den informationen och/eller inspirationen de söker. Tonalitet och tilltal är anpassad efter de olika målgrupperna och skiljer sig i viss mån åt på respektive undersida.

Under 2021 färdigställdes en underwebbplats på DRICKS hemsida för beslutsstödsverktyget WISER.

Nyhetsbrev

Nyhetsbrevet är vår kanal för att föra ut forskningsresultat och information av nyare karaktär och utgör en direktkanal till medlemmar och intressenter. Ambitionen är att få till en relativt jämn fördelning av innehåll från Chalmers, Lund och SLU, med utblickar mot verksamheten i medlemsorganisationerna där det passar. 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 maklig 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 och modeller till de som driftar och utvecklar vår svenska dricksvattenproduktion.

Facebook

Facebook-sidan DRICKS-W modereras främst av forskare från SLU. Facebook-sidan 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 exjobbs-förslag, 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. Under 2021 kan nämnas:

Thomas Pettersson: **Skyfallet i Gävle en väckarklocka – för alla**.

- Göteborgs-Posten 2021-08-21: https://www.gp.se/nyheter/sverige/skyfallet-i-g%C3%A4vle-en-v%C3%A4ckarklocka-f%C3%B6r-alla-1.53264558
- Aftonbladet 2021-08-21: https://www.aftonbladet.se/nyheter/a/28v6wG/skyfallet-i-gavle-en-vackarklocka--for-alla
- Svenska Dagbladet 2021-08-21:https://www.svd.se/a/BjrQ4l/skyfallet-i-gavle-en-vackarklocka-for-alla
- Allanyheter.com 2021-08-21: https://allanyheter.com/n/210821/skyfallet-i-gavle-en-vackarklocka-%E2%80%93-for-alla_1261933.html

- SVT Facebook 2021-08-21: https://www.facebook.com/svtnyheter/posts/4756582921037877/
- Sydsvenskan 2021-08-21: https://www.sydsvenskan.se/2021-09-01/miljoner-i-forsakringspengar-efter-skyfall
- Corren 2021-08-21: https://corren.se/nyheter/inrikes/olyckor/artikel/skyfallet-i-gavle-en-vackarklocka-for-alla/jogd9oqr
- SVT 2021-08-24: https://www.svt.se/nyheter/lokalt/gavleborg/skyfallet-i-gavle-en-vackarklocka-for-alla

Thomas Pettersson, Chalmers: **Ledningsnäten behöver förstärkas och klimatanpassas.** Scandinavian Society for Trenchless Technology 2021-08-23: https://www.sstt.se/?cid=3881

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 Vattenforskarskolan, som drivs i samverkan med de övriga tre SVU-finansierade vattenklustren.

5.1 VA-kurser och kursutveckling

Vid alla tre lärosäten, dvs Chalmers, Lunds universitet och SLU, 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 nyutexaminerade 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.

Kurser som är på grundutbildningsnivå men som har ett tydligt inslag av va-teknik listas kort här:
- Teknisk samhällsplanering (BOM575), ca 120 studenter.
- Vattenresurser och hydraulik (BOM270), ca 120 studenter
- Vattenteknik och miljö (BOM345), ca 40 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:

Vattenresursteknik, 5 hp (MV0190 SLU)
Kursens mål är att ge kunskaper om hur en vattenbyggnadsanläggning dimensioneras utifrån hydrologiska och platsgivna förutsättningar.

Projekt vattenresurser, 10 hp (MV0189 SLU)
Kursens mål är att ge kunskaper om vattenresurserna ur såväl geovetenskapligt som samhälleligt perspektiv och att ge studenten erfarenhet av att analysera behovet av ett vattenanläggningsprojekt, att utforma projektet, samt att analysera dess påverkan på produktion, säkerhet och miljö.

Livscykelanalys för miljö- och vattenteknik, 5 hp (TN0313)
Kursens syfte är att ge kunskaper och färdigheter i att kvantifiera användningen av naturresurser och dess miljöpåverkan ur ett livscykelperspektiv. Kursen 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. Kurs 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. 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 Lunds universitet

Kusthydraulik (VVRN30)
Introducerar och ger en grundläggande förståelse för tekniska problem och processer som förekommer i kustzonen och ger inblick i integrerad förvaltning av kustområden där kustproblem och lösningar ses som en integrerad del av samhället.

Hydrologi & Akvatisk Ekologi (VVRA01)
Syftar till att ge en helhetssyn på vattenmiljön utifrån såväl fysiska som biologiska synpunkter. Hydrologi beskriver vattencirkulationen i naturen och under människans påverkan. Akvatisk ekologi beskriver förhållandet mellan de olika komponenterna i den lokala och globala miljön.

Strömningslära (VVRF10)
Ger grundläggande strömningstekniska kunskaper som erfordras för analys och problemlösning inom några viktigare områden med vattenanknytning som en 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.

Sommarforskarskola 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 >70 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 2021 har vi haft några deltagare från VA-industrin på kurserna som en del i att göra Vattenforskarskolan ekonomiskt självförsörjande. Kurserna som genomfördes under 2021 för både doktorander och andra var:

- Water and Climate (Lunds universitet/Sweden Water Research)
- Advanced Urban Wastewater Treatment (Lunds universitet/ VA-Södra)
- Resources in Wastewater: Technologies and Opportunities (SLU/UU/VA - Mälardalen)
- Membrane Technology (Lunds universitet/DRICKS)
- Sampling and Measurements in Urban Water Engineering (Luleå/Dag och Nät)
- Risk Analysis and Risk Management (Chalmers/DRICKS)

5.2 Examensarbeten

Under 2021 har 16 studenter genomfört 12 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.

- Investigation of sustainable methods to reduce water hardness in drinking water treatment plants. Karlsson Faudot, É.
- Hälsoriskanalys av läkemedelsrester i dricksvatten påverkat av avloppsvatten i Sydafrika samt en undersökning av befolkningens acceptans av oavsiktlig återanvändning. Andersson, E. & Svärd, E.
- Impact of pathogen intrusion in water distribution network under sustained low pressure conditions. Falk, V. & Odhiambo, M.
- Hydrodynamic modelling of current and future spread of PFOS in Lake Ekoln – impacts of climate change and socioeconomic development. Hansson, A. & Josefsson, E.
- Utforskning av flödescytometri för övervakning av mikrobiell vattenkvalitet vid underhåll av dricksvattenledningar. Zamore, M.
- Assessing the role of the drinking water distribution system on the bacterial community in public buildings. Zhang, Z.

- Removal of PFAS from contaminated water using aeration foam fractionation. Krögerström, A.
- Evaluation of the efficiency for active coal and anion exchange resin in the removal of pharmaceuticals and perfluoroalkyl substances (PFAS) and pharmaceutical. Kalecinska, M.
- Modeling the effects of socioeconomic development and climate change on the microbial water quality in the catchment of Lake Mälaren. Söderlund, E. & Lennartsson, M.
- Predictive analysis of E. coli levels to assess water quality in the river Göta älv. Ravishankar, R.
- Identifiering och analys av mindre grundvattenresurser och hur de kan utnyttjas. Swift, N.
- Risk-based Rehabilitation of Wastewater Pipes. Lundberg, R.

6. Referenser

I detta kapitel redovisas alla publikationer som producerats inom DRICKS under 2021 – från vetenskapliga artiklar, forskningsrapporter och doktorsavhandlingar till populärvetenskapliga artiklar.

6.1 Vetenskapliga publikationer

Bergion, V., Lindhe, A., Sokolova, E. & Rosén, L. (2021). Accounting for Unexpected Risk Events in Drinking Water Systems. Exposure and Health, 13, 15-31. https://doi.org/10.1007/s12403-020-00359-4

Celma A., Ahrens L., Gago-Ferrero P., Hernández F., López F., Lundqvist J., Pitarch E., Sancho J.V., Wiberg K. & Bijlsma L. (2021). The relevant role of ion mobility separation in LC-HRMS based screening strategies for contaminants of emerging concern in the aquatic environment. Chemosphere, 280:130799. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.130799

Celma A., Mandava G., Oskarsson A., Vicente Sancho J., Bijlsma L. & Lundqvist J. (2021). In vitro bioanalytical assessment of toxicity of wetland samples from Spanish Mediterranean coastline. Environmental Sciences Europe 33:70. https://doi.org/10.1186/s12302-021-00510-1

Haalck I., Löffler P., Baduel C., Wiberg K., Ahrens L. & Lai F.Y. (2021). Mining chemical information in Swedish urban wastewaters: simultaneous assessment of population consumption, treatment efficiency and environmental discharge of illicit drugs. Scientific Reports, 11:13510. https://doi.org/10.1038/s41598-021-92915-4

Hägg K., Li J., Heibati M., Murphy K.R., Paul C.J. & Persson K.M. (2021). Water quality changes during the first meter of managed aquifer recharge. Environmental Science: Water Research & Technology 7(3): 562-572. https://doi.org/10.1039/d0ew00839g

Lai F.Y., Muziasari W., Virta M., Wiberg K. & Ahrens L. (2021). Profiles of environmental antibiotic resistomes in the urban aquatic recipients of Sweden using high-throughput quantitative PCR analysis. Environmental Pollution, 117651. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117651

Lundqvist J, Persson K.M., Oskarsson A. (2021) Glass-bottled drinking water – a time capsule to study the historic presence of hazardous chemicals using effect-based methods. Environmental Sciences Europe 33:34 https://enveurope.springeropen.com/articles/10.1186/s12302-021-00476-0

Menger F., Ahrens L., Wiberg K., Gago-Ferrero P. (2021) Suspect screening based on market data of polar halogenated micropollutants in river water affected by wastewater, Journal of Hazardous Materials, 401:123377. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123377

Menger F., Boström G., Jonsson O., Ahrens L., Wiberg K., Kreuger J. & Gago-Ferrero P. (2021). Identification of pesticide transformation products in surface water using suspect screening combined with national monitoring data. Environmental Science & Technology, 55:15, 10343–10353. https://doi.org/10.1021/acs.est.1c00466

Moona N., Holmes A., Wünsch U.J., Pettersson T.J.R & Murphy K.R. (2021). Full-Scale Manipulation of the Empty Bed Contact Time to Optimize Dissolved Organic Matter Removal by Drinking Water Biofilters. ACS ES&T Water 1(5): 1117-1126. https://doi.org/10.1021/acsestwater.0c00105

Norén E., Lindh C., Glynn A., Rylander L., Pineda D. & Nielsen C. (2021). Temporal trends, 2000-2017, of perfluoroalkyl acid (PFAA) concentrations in serum of Swedish adolescents. Environ Int, 155:106716. https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106716

Ohlin Saletti, A., Rosén, L. & Lindhe, A. (2021). Framework for Risk-Based Decision Support on Infiltration and Inflow to Wastewater Systems. Water, 13(17), 2320. https://www.mdpi.com/2073-4441/13/17/2320

Oskarsson A, Rosenmai AK, Mandava G, Johannisson A, Holmes A, Tröger R, Lundqvist J. (2021) Assessment of source and treated water quality in seven drinking water treatment plants by in vitro bioassays – oxidative stress and antiandrogenic effects after artificial infiltration. Science of the Total Environment 758, 144001 https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144001

Postigo C., Andersson A., Harir M., Bastviken D., Gonisor M., Schmitt-Kopplin P., Gago-Ferrero P., Ahrens L., Ahrens L., Wiberg K. (2021) Unraveling the chemodiversity of halogenated disinfection by-products formed during drinking water treatment using target and non-target screening tools. Journal of Hazardous Material, Volume 401:1236812021.

Postigo C., Gil-Solsona R., Herrera-Batista M.F., Gago-Ferrero P., Alygizakis N., Ahrens L. & Wiberg K. (2021). A step forward in the detection of byproducts of anthropogenic organic micropollutants in chlorinated water contaminants. Trends in Environmental Analytical Chemistry 32, E00148. https://doi.org/10.1016/j.teac.2021.e00148

Sjöstrand, K., Klingberg, J., Zadeh, N.S., Haraldsson, M., Rosén, L. & Lindhe A. (2021) The Value of Water—Estimating Water-Disruption Impacts on Businesses. Water, 13, 1565. https://doi.org/10.3390/w13111565

Tröger, R., Ren, H., Yin, D., Postigo, C., Nguyen, P., Baduel, C., Golovko, O., Been, F., Joerss, H., Rosa Boleda, M., Polesello, S., Roncoroni, M., Taniyasu, S., Menger, F., Ahrens, L., Yin Lai, F., Wiberg, K. (2021) What's in the water? – Target and suspect screening of contaminants of emerging concern in raw water and drinking water from Europe and Asia, Water Research, https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.117099

Ullberg M., Lavonen E., Köhler S.J., Golovko O., Wiberg K. (2021) Pilot-scale removal of organic micropollutants and natural organic matter from drinking water using ozonation followed by granular activated carbon. Environmental Science: Water Research & Technology. https://doi.org/10.1039/d0ew00933d

Wünsch U. J. & Murphy K. (2021). A simple method to isolate fluorescence spectra from small dissolved organic matter datasets. *Water Research 190: 116730.* https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116730

Yu M., Lavonen E., Oskarsson A. & Lundqvist J. (2021). Removal of oxidative stress and genotoxic activities during drinking water production by ozonation and granular activated carbon

filtration. *Environmental Sciences Europe 33:124.*
https://doi.org/10.1186/s12302-021-00567-y

6.2 Konferensartiklar och andra konferensbidrag (muntliga såväl som posterpresentationer)

Glynn A. (2021). Wide-spread PFAS contamination of drinking water in Sweden - exposure and health risk assessment. (2021). Invited speaker. 56th Congress of the European-Societies-of-Toxicology (EUROTOX) - Toxicology of the Next Generation, Sep 2021. Toxicol Lett, 350, pp.S54-S55.

Ullberg M., Köhler S.J., Golovko O., Wiberg K. & Lavonen E. (2021). Pilot scale evaluation of organic micropollutant removal using ozonation and activated carbon filtration. IWA World Water Congress & Exhibition, poster presentation (online), May 24 - June 4, 2021.

Chan, S., Rosenqvist, T., Näslund-Salomonsson, E., Hägglund, M., Ahlinder, J., Forsman, M., Rådström, P., and Paul C.J. (2021). Understanding colonization of sand biofilm in newly built full-scale slow sand filters for drinking water production. Microbial Ecology and Water Engineering, and Biofilms, International Water Association (IWA) Specialist Conference, Delft, Netherlands and online. October 18-21, poster presentation

Danielsson, M., Schleich, C., Ahlinder, J., Brindefalk, B., Pullerits, K., Dacklind,I., Näslund Salomonsson, E., Forsman, M., Keucken, A., Rådström, P., and Paul, C.J. (2021). The bacterial biofilm community in a full-scale drinking water distribution system, before and after removal of monochloramine. Microbial Ecology and Water Engineering, and Biofilms, International Water Association (IWA) Specialist Conference, Delft, Netherlands and online. October 18-21. poster presentation

Fröjd, M.J., Zamore, M., Meyer-Lind, L., Barup, J., Chan,S., and Paul, C.J. (2021). Supporting safe and smart maintenance of drinking water pipes at full scale with online flow cytometry. Microbial Ecology and Water Engineering, and Biofilms, International Water Association (IWA) Specialist Conference, Delft, Netherlands and online. October 18-21. Oral presentation

Frank, E., Ahlinder, J., Brindefalk, B., Lindberg, E., Jepphson, T., Persson, K.M., and Paul, C.J. 2021 Using knowledge of bacterial communities in wastewater to assess pollution of bathing water and marine sediments. Microbial Ecology and Water Engineering, and Biofilms, International Water Association (IWA) Specialist Conference, Delft, Netherlands and online. October 18-21. Oral presentation

Rosenqvist, T., Hilding, J., and Paul, C.J. 2021 The effect of pre-ozonation on the slow sand filter microbiome. Microbial Ecology and Water Engineering, and Biofilms, International Water Association (IWA) Specialist Conference, Delft, Netherlands and online. October 18-21. Poster presentation

Schleich, C., Gador, N., Rådström, P., Paul, C.J., and Keucken, A. (2021). Bacterial changes in a full-scale drinking water distribution system after the removal of monochloramine. Microbial Ecology and Water Engineering, and Biofilms, International Water Association (IWA) Specialist Conference, Delft, Netherlands and online. October 18-21. Poster presentation

Takman, M. Paul, C.J., Cimbritz,M., and Davidsson, Å. (2021). Bacterial community changes in granular activated carbon (GAC) filters for wastewater treatment – effects on water quality and wastewater reuse potential. Microbial Ecology and Water Engineering, and Biofilms, International Water Association (IWA) Specialist Conference, Delft, Netherlands and online. October 18-21. Poster presentation

Lindhe, A., Gärtner, L & Rosén, L. (2021). Water system services as a basis for identifying costs and benefits of water protection measures. IWA Digital World Water Congress, 24 May – 4 June. Oral presentation.

Gärtner, N., Lindhe, A., Rosén, L., Söderqvist, T. & Wahtra J. (2021). Using Water System Services (WSS) to prioritize between water protection measures. 48th IAH Congress, 6–10 September. Poster.

6.3 Doktors- och licentiatavhandlingar

Cascone C. (2021). Optical sensors in drinking water production: towards automated process control in relation to natural organic matter. Doktorsavhandling, Sveriges lantbruksuniversitet. https://pub.epsilon.slu.se/22798/1/cascone_c_210319.pdf

Hägg, K. (2021). Modern artificial recharge plants: combining chemical flocculation with aquifer recharge. Doktorsavhandling, Lunds tekniska högskola. https://www.lunduniversity.lu.se/lup/publication/70d62165-a09c-4d4d-b3e5-fb5a53727678

Menger F. (2021). Hidden in the Water : Development of screening strategies to identify new organic contaminants of emerging concern. Doktorsavhandling, Sveriges lantbruksuniversitet. https://pub.epsilon.slu.se/23726/

Moona, N. (2021). Assessing and optimizing biofilter performance in drinking water treatment. Doktorsavhandlingar vid Chalmers tekniska högskola, Ny serie nr 4885. https://research.chalmers.se/publication/521625

Tröger R. (2021). Occurrence and removal of organic micropollutants in drinking water: analytical approaches for wide-scope screening of contaminants of emerging concern. Doktorsavhandling, Sveriges lantbruksuniversitet. https://pub.epsilon.slu.se/19766/1/troger_r_201223.pdf

6.4 Rapporter

Köhler S., Wanemark J., Fridén H. & Markensten H. (2021). Utveckling av nya digitala verktyg inom dricksvattensektorn: Optimerad rening, förbättrad fällning av NOM och trendanalys av cykliska processer. Rapport 2021:4, Institutionen för vatten och miljö, SLU. https://pub.epsilon.slu.se/22860/

Lindhe A, Sjöstrand K. (2021). Beslutsstödsanalys av processlösningar för Norrvattens framtida dricksvattenproduktion, Chalmers/DRICKS. https://research.chalmers.se/publication/523568

Malnes D, Golovko O, Köhler S, Ahrens L. (2021). Förekomst av organiska miljöföroreningar i svenska ytvatten. Kartläggning av Sveriges tre största sjöar, tillrinnande vattendrag och utlopp. Mälarens

vattenvårdsförbunds rapport 2021: 1; Vänerns vattenvårdsförbunds rapport 121; Vätternvårdsförbundets rapport 140. https://www.richwaters.se/wp-content/uploads/Forekomst-av-organiska-miljofororeningar-i-Svenska-ytvatten-final2-210201.pdf

Sjöstrand, K., Lindhe, A. & Rosén, L. (2021). WISER – ett verktyg för beslutsstöd inom dricksvattensektorn. Svenskt Vatten Utveckling, rapport 2021-8.

Wahtra, J., Söderqvist, T. & Nordzell, H. (2021). Economic valuation of drinking water quantity and quality: A literature review. Chalmers tekniska högskola, DRICKS. https://research.chalmers.se/publication/527715

6.5 Examensarbeten

Andersson, E. & Svärd, E. (2021). Hälsoriskanalys av läkemedelsrester i dricksvatten påverkat av avloppsvatten i Sydafrika samt en undersökning av befolkningens acceptans av oavsiktlig återanvändning. Master thesis, Chalmers university of technology. https://hdl.handle.net/20.500.12380/302740

Falk, V. & Odhiambo, M. (2021). Impact of pathogen intrusion in water distribution network under sustained low pressure conditions. Master thesis, Chalmers university of technology. https://hdl.handle.net/20.500.12380/302676

Hansson, A. & Josefsson, E. (2021). Hydrodynamic modelling of current and future spread of PFOS in Lake Ekoln – impacts of climate change and socioeconomic development. Master thesis, Chalmers university of technology. https://hdl.handle.net/20.500.12380/303584

Karlsson Faudot, É. (2021). Investigation of sustainable methods to reduce water hardness in drinking water treatment plants. Master thesis, Lund university https://lup.lub.lu.se/student-papers/search/publication/9037741

Lundberg, R. (2021). Risk-based Rehabilitation of Wastewater Pipes. Master thesis, Chalmers University of Technology. https://odr.chalmers.se/handle/20.500.12380/302871

Löf, H. (2021). Undersökning av tidigt varningssystem för algblomning - en studie genom vattenkvalitetsmätningar med EXO2 sond, fjärranalys och vattenprovtagning. Master thesis, UU. FULLTEXT01.pdf (diva-portal.org)

Ramachandran, R. (2021). Predictive analysis of E. coli levels to assess water quality in the river Göta älv. Master thesis, Chalmers university of technology.

Swift, N. (2021). Identifiering och analys av mindre grundvattenresurser och hur de kan utnyttjas. Chalmers tekniska högskola. https://odr.chalmers.se/handle/20.500.12380/302744

Söderlund, E. & Lennartsson, M. (2021). Modeling the effects of socioeconomic development and climate change on the microbial water quality in the catchment of Lake Mälaren. Master thesis, Chalmers University of technology.

Zamore, M. (2021). Utforskning av flödescytometri för övervakning av mikrobiell vattenkvalitet vid underhåll av dricksvattenledningar. Master thesis, Lund university. https://lup.lub.lu.se/student-papers/search/publication/9057988

Zhang, Z. (2021). Assessing the role of the drinking water distribution system on the bacterial community in public buildings. Master thesis, Lund university. http://lup.lub.lu.se/student-papers/record/9054708