

NILU rapport 1/2025

**Bruk av høyoppløselig
massespektrometri for en
uhildet kartlegging av organisk-
kjemiske forurensning i
nedbørfeltet til
drikkevannskilden Gjersjøen**

Bruk av høyoppløselig massespektrometri for en uhildet kartlegging av organisk-kjemiske forurensning i nedbørfeltet til drikkevannskilden Gjersjøen

Jean Froment¹; Randi Margrete Aamodt²; Hans Gundersen¹; Jøran Solnes Skaar¹ og Pawel Rostkowski ^[1]

Tilhørighet:

¹ NILU

² Nordre Follo Kommune

NILU rapport 1/2025

Hovedkontor

NILU
Postboks 100
2027 Kjeller

Tromsø

NILU
Framsenteret
Postboks 6606
Stakkevollan
9296 Tromsø

Trondheim

NILU
Kjøpmannsgata 8
7013 Trondheim

Telefon 63 89 80 00

nilu@nilu.no
www.nilu.no

Stiftelsen NILU

Org.nr. 941 705 561

Sertifisering

NS-EN ISO 9001
NS-EN ISO 14001

Akkreditering

NS-EN ISO/IEC 17025

Göteborg

NILU Klimat- och
miljöinstitutet AB
Sven Hultins plats 5
412 58 Göteborg
Sverige

Org.nr. 559442-9580

www.nilu-research.se

Forsidebilde**Tittel**

Bruk av høyopløselig massespektrometri for en uhildet kartlegging av organisk-kjemiske forurensning i nedbørfeltet til drikkevannskilden Gjersjøen

Engelsk tittel

Use of high-resolution mass spectrometry for an unbiased mapping of organic-chemical contaminants in the catchment area of the Gjersjøen drinking water source.

Forfatter(e)

Jean Froment; Randi Margrete Aamodt; Hans Gundersen; Jøran Solnes Skaar og Pawel Rostkowski

Kort sammendrag (norsk)

Denne rapporten beskriver en studie utført av NILU for Nordre Follo kommune, med støtte fra Folkehelseinstituttet. Målet var å prøve uhildet kartlegging som metode for å undersøke hvilke organisk-kjemiske forbindelser som finnes i nedbørfeltet til drikkevannskilden Gjersjøen. Som del av dette ønsket vi også å identifisere forbindelser som forårsaker feilaktige, store utslag i nitratsensorer. Ved bruk av høyopløselig massespektrometri og miljøforensiske metoder ble 163 markører identifisert, inkludert aspirin, kreatin og kreatinin, knyttet til kloakkforurensning under kraftig nedbør. Funnene gir innsikt i kjemisk interferens og kan forbedre overvåkingssystemer og vannforvaltning.

Kort sammendrag (engelsk)

This report outlines a study by NILU for Nordre Follo municipality, supported by the Norwegian Institute of Public Health. The aim was to identify compounds causing nitrate sensor errors. Using high-resolution mass spectrometry and environmental forensic methods, 163 markers were identified, including aspirin, creatine, and creatinine, associated with sewage contamination during heavy rainfall. The findings provide insights into chemical interference and may improve monitoring systems and water management.

Nøkkelord

Høyopløselig massespektrometri, miljøforensikk, nitratsensorer, kloakkforurensning, feilavlesninger, vannkvalitetsovervåking, organiske forbindelser, bærekraftig vannforvaltning

Antall sider

15

Prosjektleder

Pawel Rostkowski

Oppdragsgiver

Nordre Follo Kommune

Ansvarlig signatur

Aasmund Fahre Vik, viseadm. dir. & CTO

Tilgjengelighet

A-Åpen

NILU prosjektnummer

O-124003

Oppdragsgivers referanse**Dato**

28.05.2025

© Stiftelsen NILU

Sitering

Jean Froment; Randi Margrete Aamodt; Hans Gundersen; Jøran Solnes Skaar og Pawel Rostkowski (2025). Bruk av høyopløselig massespektrometri for en uhildet kartlegging av organisk-kjemiske forurensning i nedbørfeltet til drikkevannskilden Gjersjøen. (NILU rapport 1/2025). Kjeller: NILU.

Forord

Denne rapporten er utarbeidet av Stiftelsen NILU på oppdrag fra Nordre Follo kommune. Prosjektet ble delvis finansiert av Folkehelseinstituttet (FHI) gjennom programmet «Teknologiutvikling i vannbransjen». Målet med arbeidet har vært å anvende høyoppløselig massespektrometri og miljøforensiske metoder for å undersøke hvilke organisk-kjemiske forbindelser som finnes i nedbørfeltet til drikkevannskilden Gjersjøen. Som del av dette ønsket vi også å forsøke å identifisere forbindelser som forårsaker feilaktige, store utslag på nitratsensorer.

Nøyaktig måling av nitrater i vann er avgjørende for å overvåke vannkvalitet og sikre bærekraftig forvaltning av naturressurser. Studien har gjennomført en uhildet kartlegging av organisk-kjemiske forurensninger i nedbørfeltet til drikkevannskilden Gjersjøen for å få en bedre forståelse av forurensningsbildet i området. Det er installert tre faste målestasjoner for måling av vannføring og kvalitetsparametere i tre bekker i kommunen. I alle tre er det observert at nitratsensorene slår ut kraftig på noe annet enn nitrat. Dette er åpenbart knyttet til episoder med utslipp av spillvann. En del av prosjektet har derfor vært å prøve å identifisere spesifikt hvilke forbindelser nitratsensoren reagerer på. Dette kan for eksempel være til nytte for å varsle om spillvannsutslipp og til kildesporing av forurensning. Testingen av sensorene er imidlertid ennå ikke avsluttet.

Presis overvåking av vannkvalitet er avgjørende for en bærekraftig forvaltning av drikkevannskilder, og både sensormålinger og identifikasjon av forurensende stoffer spiller en viktig rolle i dette arbeidet. Ved hjelp av avanserte analytiske teknikker har denne studien kartlagt tilstedeværelsen av ulike organiske forurensninger i vannmiljøet samt i råvann og renset drikkevann fra Stangeåsen vannverk.

Vi takker også våre kolleger ved Stiftelsen NILU for deres ekspertise og samarbeid, samt Nordre Follo kommune for tilliten til å gjennomføre dette arbeidet. Vi håper at funnene i denne rapporten vil være et verdifullt bidrag til en bedre forståelse av de komplekse kjemiske interaksjonene i miljøet, til å identifisere potensielt skadelige stoffer som kan tilføres drikkevannet, og til videreutvikling av nyttige måleteknologier for overvåking og kildesporing av forurensningsutslipp.

Kjeller, 04/06/2025

Pawel Rostkowski

NILU

Innhold

Forord	4
Sammendrag	6
1 Introduksjon	6
2 Materialer og metoder	7
2.1 Prøvetaking	7
2.2 Prøveopparbeidelse	10
2.3 Instrumentelle analyser	11
3 Resultater	11
3.1 Identifisering av Event-Markører	11
Oppsummering	15

Sammendrag

Denne rapporten presenterer funnene fra en studie utført av NILU på oppdrag fra Nordre Follo kommune, med støtte fra Folkehelseinstituttet. Studien hadde to hovedmål: Å gjennomføre en uhildet kartlegging av organisk-kjemiske forurensninger i nedbørfeltet til drikkevannskilden Gjersjøen, og å identifisere organiske forbindelser som kan forårsake feilavlesninger i nitratsensorer og dermed påvirke kvaliteten på overvåkingsdata.

Ved hjelp av høyoppløselig massespektrometri (HRMS) og miljøforensiske metoder ble 163 potensielle hendelsesmarkører identifisert. Hendelsesmarkører refererer til spesifikke kjemiske forbindelser som kan spores tilbake til bestemte kilder eller hendelser, for eksempel kloakkforurensning eller andre utslipp, og som gir innsikt i endringer i vannkvaliteten. Blant de identifiserte markørene var aspirin, kreatin og kreatinin, som spesielt ble knyttet til kloakkforurensning under episoder med kraftig nedbør. Disse forbindelsene fungerer som indikatorer på hendelser som ikke bare forårsaker høye utslag på nitratsensorer, men også gir viktig informasjon om forurensningskilder i nedbørfeltet.

Studien gir verdifulle bidrag til forståelsen av de komplekse kjemiske interaksjonene i miljøet, og demonstrerer hvordan avanserte analytiske teknikker kan benyttes for å identifisere potensielt skadelige stoffer som tilføres drikkevannet. Resultatene kan brukes til å videreutvikle mer presise og robuste måleteknologier for effektiv overvåking og kildesporing av forurensningsutslipp, og dermed støtte en mer bærekraftig vannforvaltning.

1 Introduksjon

Denne rapporten presenterer funnene fra et prosjekt bestilt av Nordre Follo kommune og gjennomført av NILU. Prosjektet er delvis finansiert av Folkehelseinstituttet (FHI) gjennom programmet Teknologiutvikling i vannbransjen, som støtter utvikling og utprøving av ny teknologi for å sikre trygt drikkevann og god vannforvaltning. Studien hadde to hovedmål: (1) å gjennomføre en uavhengig kartlegging av organisk-kjemiske forurensninger i nedbørfeltet til drikkevannskilden Gjersjøen, og (2) å identifisere organiske forbindelser som kan forårsake interferens i nitratsensorer.

Nitratsensorer brukes i stor grad til miljøovervåking for å måle nitratkonsentrasjoner i vann. Nøyaktige målinger er avgjørende for å vurdere vannkvalitet, sikre samsvar med regelverk og støtte bærekraftig forvaltning av naturressurser. Likevel kan nitratsensorer tidvis gi feilaktige avlesninger på grunn av interferens fra organiske forbindelser i vannet. Det ble observert at nitratsensorene slo kraftig ut ved utslipp av spillvann. Dette åpnet for muligheten at interferens fra organiske forbindelser i vannet også kunne ha en potensiell nytteverdi. Denne nytteverdien ville være større dersom det kunne påvises at nitratsensorene reagerte på forbindelser som er karakteristiske for spillvann, spesielt toalettavløp.

For å nå disse målene ble høyoppløselig massespektrometri (HRMS) og miljøforensiske metoder benyttet. Disse avanserte teknikkene muliggjorde påvisning og identifikasjon av både kjente og ukjente forbindelser i vannprøver, og ga verdifull innsikt i kildene til sensorinterferens. Samtidig gjorde denne tilnærmingen det mulig å gjennomføre en omfattende og uavhengig kartlegging av miljøforurensninger i Gjersjøens nedbørfelt.

Studien identifiserte viktige miljøforurensninger og trender som kan være relevante for miljøforvaltningen, samt forbindelser som kan forstyrre sensoravlesninger. Ved å kombinere kjemisk analyse med identifikasjon av forurensningsmønstre, kan resultatene bidra til mer målrettet overvåking og gi et bedre beslutningsgrunnlag for beskyttelse og forvaltning av vannressurser.

De følgende kapitlene i rapporten beskriver metodene som er brukt, og presenterer resultatene fra de kjemiske analysene. Ved å gi en bredere forståelse av organisk-kjemiske forurensninger i området, og samtidig belyse utfordringer knyttet til sensorinterferens, håper vi at rapporten kan bidra til en mer bærekraftig vannforvaltning og utvikling av bedre og mer målrettede overvåkingssystemer.

2 Materialer og metoder

2.1 Prøvetaking

Vannprøver ble samlet inn fra tre forskjellige nedbørfelt. Noen av prøvene ble tatt under forhold med kjent og pågående utslipp av spillvann, og da nitratsensorene viste høye utslag som følge av andre stoffer enn nitrat, for eksempel organiske forbindelser.

Sensorene ble utløst og registrerte høye nitratkonsentrasjoner i situasjoner hvor dette ikke var forventet. De store utslagene skyldes trolig ikke nitrat, men andre stoffer i vannet – spesielt organiske forbindelser.

En oversikt over prøvetakingsområdene, periodene for prøvetaking og antall innsamlede prøver er oppsummert i Tabell 1.

Tabell 1 Detaljer om prøvetaking

Avrenningsområde	Prøvetakingsperiode	Antall prøver	Volum (l)
Skredderstubekken	des 2021 - mars 2023	8	1
Tussebekken	des 2021 - okt 2024	3	1
Greverudbekken	mai 2022	3	1

Lokasjonene til nedbørfeltene er vist i Figur 1. For en mer detaljert oversikt over de hydrologiske målestasjonenes plassering vises til Figur 2

Ved Skredderstubekken ble det tatt to prøver under utløsende hendelser – det vil si ved kjent spillvannsutslipp og når nitratsensorene rapporterte unormalt høye konsentrasjoner under forhold hvor dette ikke var forventet – samt seks prøver utenfor slike hendelser.

På de to andre lokalitetene, Tussebekken og Greverudbekken, ble det samlet inn én prøve under utløsende hendelser og to prøver utenfor. Prøver utenfor utløsende hendelser ble enten tatt oppstrøms for utslippspunktet eller på tidspunkter der det ikke var indikasjoner på pågående spillvannsutslipp.

Denne prøvetakingsstrategien gjorde det mulig å identifisere kjemiske forbindelser som var karakteristiske for prøver samlet inn under utløsende hendelser ved de tre lokalitetene.

For å undersøke hvordan ulike miljøforhold og behandlingsstadier påvirker nitratsensorenes respons, ble vannprøvene kategorisert i følgende grupper, representert med farger i kartet i Figur 1:

- **Utslipp (Rød):** Prøver samlet fra lokasjoner direkte påvirket av kloakkutslipp. Disse områdene representerer potensielle kilder til kjemiske forbindelser som kan gi sensorinterferens.
- **Ikke utslipp (Gul):** Prøver hentet fra områder som ikke er direkte påvirket av kloakk, selv ved kraftig nedbør eller snøsmelting. Disse fungerer som referanse for vannkvalitet uten kloakkpåvirkning.
- **Utenfor spillvann (Grønn):** Prøver tatt fra områder uten påvirkning fra spillvann under noen forhold, og som bidrar til å skille mellom naturlige og kloakkrelaterte kjemiske profiler.
- **Innløp kloakkrenseanlegg (Oransje):** Prøver fra innløpet til et kloakkrenseanlegg, som reflekterer sammensetningen av ubehandlet kloakk.
- **Råvann sommer (Mørk lilla):** Prøver av råvann samlet i sommermånedene, som viser kjemiske forhold under varme og tørre forhold.
- **Råvann vinter (Lys lilla):** Prøver av råvann fra vinteren, som gir innsikt i effekten av kulde, snøsmelting og avrenning.
- **Renset vann før klorering (Mellomblå):** Prøver av behandlet vann før klorering, som gir informasjon om vannkvalitet etter innledende renseprosesser.
- **Renset vann etter klorering (Lys blå):** Prøver av ferdigbehandlet drikkevann etter klorering, som representerer sluttproduktet levert til forbrukerne.

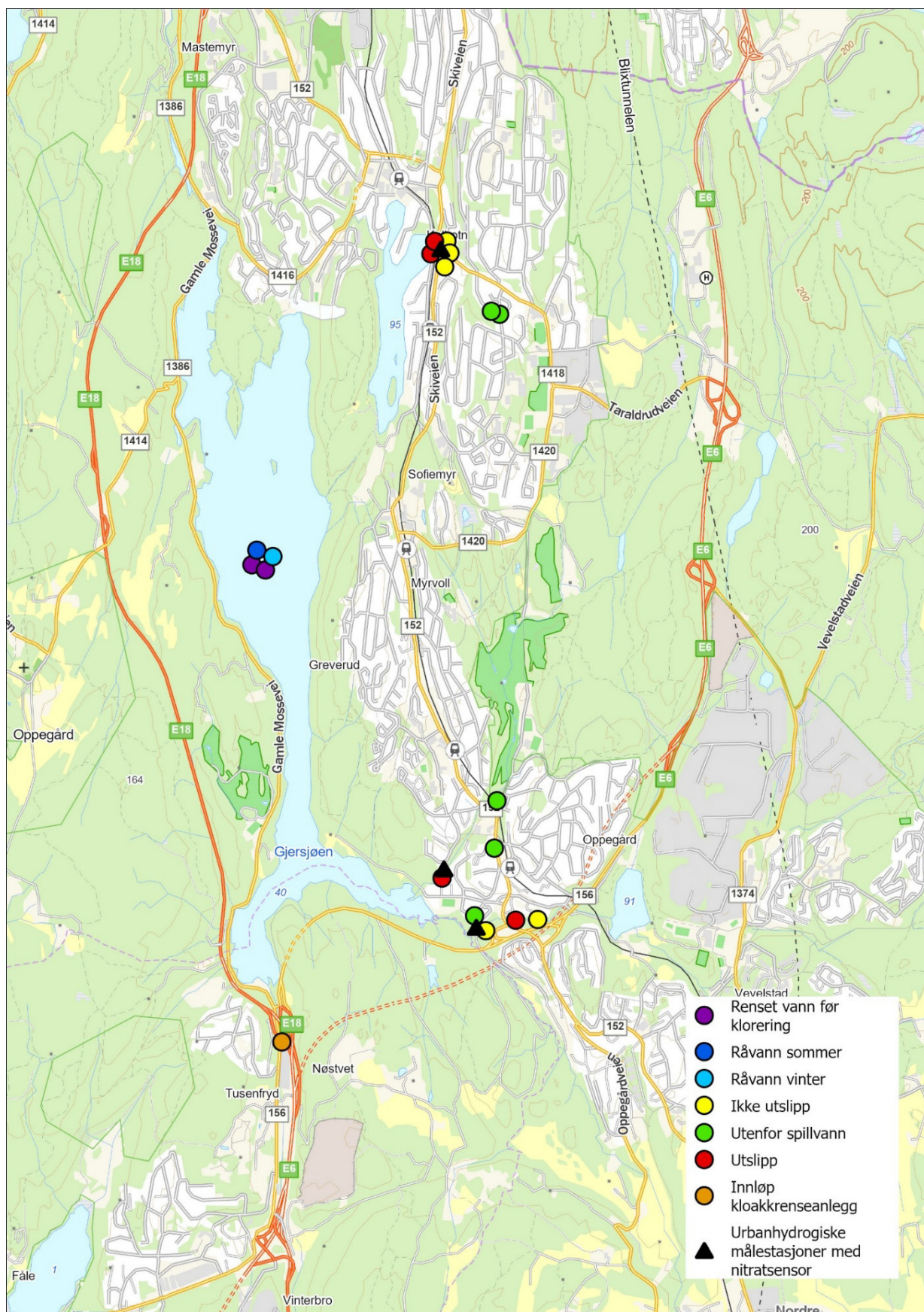
Denne helhetlige prøvetakingsstrategien sikret et omfattende datagrunnlag som muliggjorde en miljøforensisk tilnærming, både for å identifisere kilder til organisk-kjemiske forurensninger i nedbørfeltet til Gjersjøen og for å vurdere deres potensielle påvirkning på nitratsensorene.

Ved å kombinere prøver fra ulike kilder og hydrologiske forhold kunne vi avdekke kjemiske fingeravtrykk og spesifikke hendelsesmarkører, noe som gir verdifull innsikt i både sensorinterferens og forurensningsmønstre i vannmiljøet.

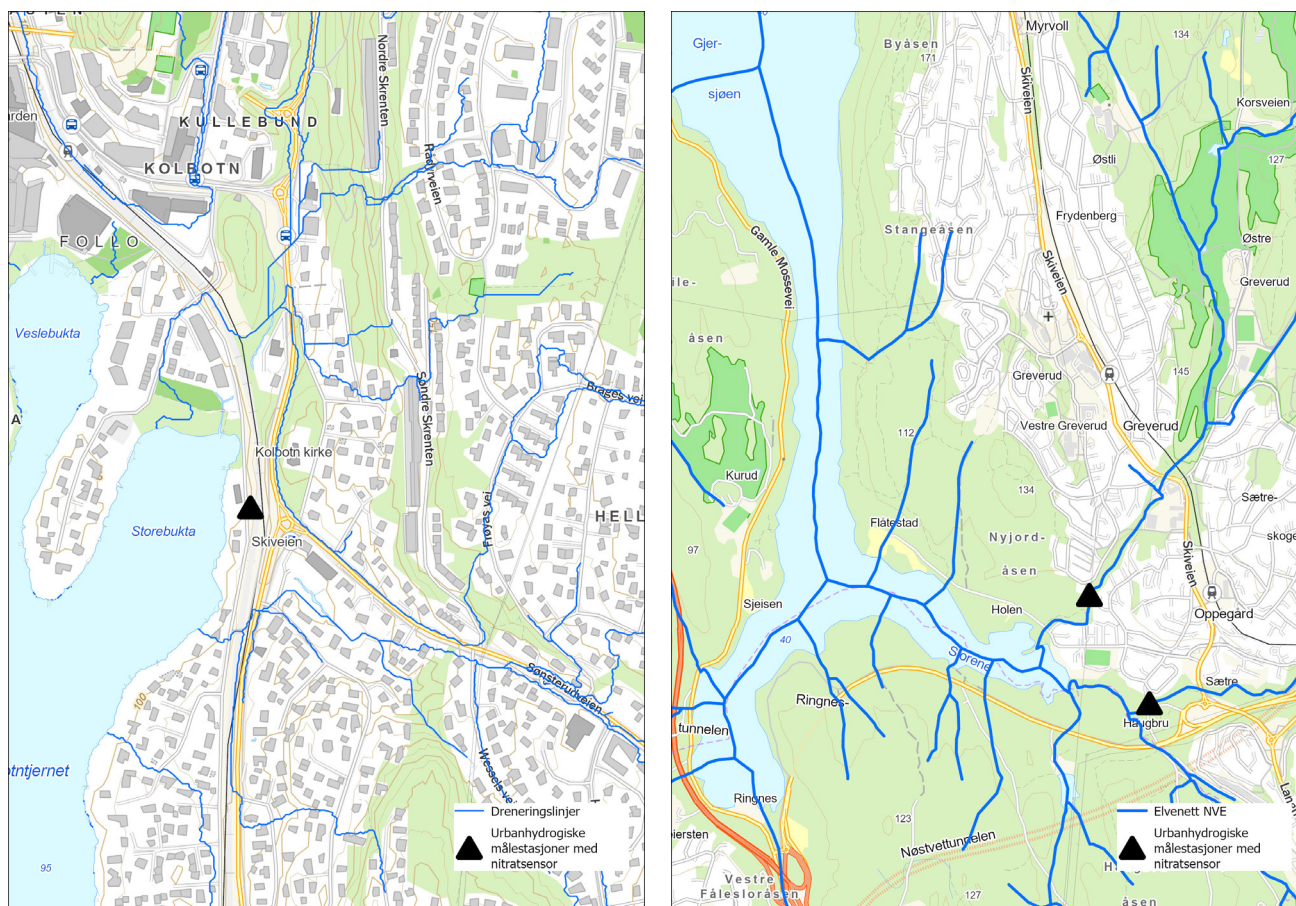
Den strategiske prøvetakingen, som inkluderte påvirkede og upåvirkede prøver fra ulike sesonger og vannbehandlingsstadier, gjorde det mulig å identifisere forbindelser som var spesifikke for hendelser med spillvannsutslipp – samt forbindelser som utløste sterke utslag i nitratsensorene.

I prøvene fra vannverket ble det også identifisert forskjeller mellom råvann og behandlet drikkevann, noe som ga innsikt i hvilken effekt klorering og UV-behandling har på vannets kjemiske sammensetning.

Det er likevel viktig å understreke at vi fortsatt ikke har en fullstendig forklaring på hvorfor nitratsensorene reagerer slik de gjør.



Figur 1 Prøvetaking lokasjoner



Figur 2 Nøyaktig lokalisering av de urbanhydrologiske målestasjonene (Skredderstubekken på venstre, Tussebekken og Greverudbekken på høyre)

2.2 Prøveopparbeidelse

Opparbeidelse av vannprøvene ble utført ved hjelp av fastfaseekstraksjon (SPE), en metode valgt for å konsentrere et bredt spekter av organiske forbindelser fra komplekse vannmatriser. SPE-metoden ble designet for å isolere både polar og upolar kjemi, inkludert lave konsentrasjoner av forbindelser som kan forårsake interferens med nitratsensorer.

Prøveopparbeidelse inkluderte følgende trinn:

1. Filtrering: Råvannsprøver ble filtrert for å fjerne partikler som kunne forstyrre ekstraksjonsprosessen.
2. Ekstraksjon: Prøvene ble ført gjennom faste faser (sorbenter) som binder organiske forbindelser basert på deres kjemiske egenskaper.
3. Eluering: Bundne forbindelser ble eluert med organiske løsemidler kompatible med væskechromatografisk analyse.

Valget av SPE-metoden ble styrt av følgende prinsipper:

- Fokus på bred forbindelse kjemi: SPE var optimalisert for å fange forbindelser med varierende polaritet og fysisk-kjemiske egenskaper.
- Reduksjon av matriksinterferens: SPE reduserer matriksstøy, noe som forbedrer signal-til-støy-forholdet under massespektrometrisk analyse.

Denne omfattende metoden sikret en representativ prøveberikelse for videre analyse.

2.3 Instrumentelle analyser

De ekstraherte prøvene ble analysert med væskeskromatografi koblet til et høyoppløselig massespektrometer (LC-HRMS). En Q-Exactive Orbitrap (Thermo Fisher) ble brukt til å utføre all analysen. Dette instrumentet lar oss samle essensiell informasjon om kjemikalier i prøver: forløperens eksakte masse, retensjonstid og eksakt masse av alle fragmentene som kommer fra kjemikaliumet. All denne informasjonen brukes deretter til å identifisere det aktuelle kjemikaliumet. Denne teknikken muliggjorde en nøyaktig påvisning av kjemiske forbindelser gjennom følgende trinn:

1. All-Ion Injection: En bred analyse for å samle kjemiske fingeravtrykk som inkluderer eksakt masse, retensjonstid og fragmenteringsioner for prøver samlet under nitratsensorutløsning (se første rapport).
2. Semi-target Injeksjon: Etterfølgende injeksjoner ble utført for å fokusere på relevante kjemiske fingeravtrykk fra forbindelser assosiert med utløsning.

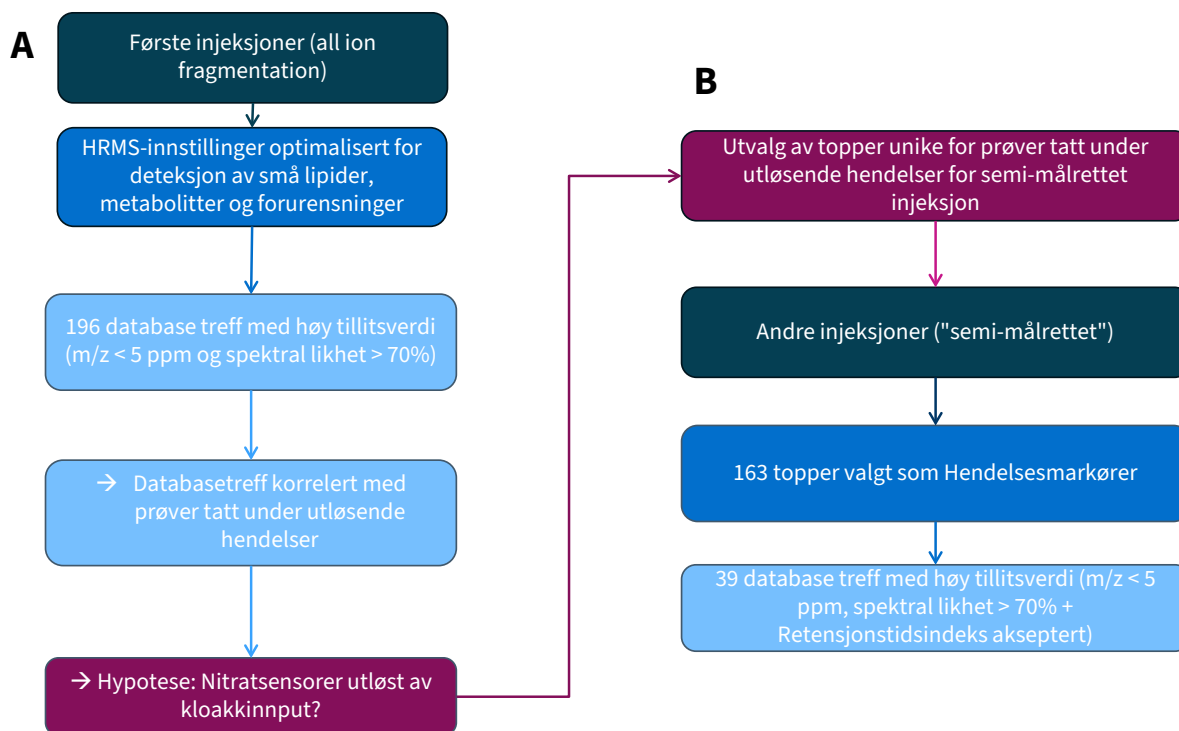
3 Resultater

3.1 Identifisering av Event-Markører

Det samlede datasettet fra begge analysene ble brukt til å identifisere event-markører, definert som:

- Kjemiske forbindelser påvist i avløpsinnløpet.
- Forbindelser til stede i minst én prøve fra nitratsensorutløsning.
- Fraværende i prøver utenfor avløpspåvirkning.

Totalt ble 163 kjemiske forbindelser identifisert og flagget som event-markører. Disse forbindelsene representerer potensielle indikatorer på kloakkrelatert forurensning som kan forstyrre nitratsensorene. Arbeidsflyten som ble brukt for å identifisere disse event-markørene, er oppsummert i Figur 3



Figur 3 Arbeidsflyt fulgt for å samle høy-kvalitets kjemiske fingeravtrykk av hendelsesmarkører. A = første injeksjon (all ion fragmentation), og B = andre injeksjon (semi-måltrett injeksjon basert på resultatene fra første injeksjon).

Fra event-markørene vist i Figur 3, ble to humane metabolitter (kreatin og kreatinin) og et mye brukt legemiddel (aspirin) valgt for videre undersøkelser. Figur 4 viser spektraloverensstemmelsen for disse forbindelsene, der øvre del av spekteret stammer fra våre prøver, og nedre del fra rene forbindelser lagret i spektraldatabasen.

Aspirin ble påvist i alle prøvene samlet inn under utløsningene av nitratsensorene, mens de to metabolittene ble funnet i omtrent halvparten av prøvene fra disse hendelsene. Aspirin ble påvist i alle prøvene som ble samlet inn under utløsningene av nitratsensorene, mens de to metabolittene forekom i omtrent halvparten av prøvene fra disse hendelsene. Alle tre forbindelsene ble registrert med høyere intensitet i innløpet til kloakkrenseanlegget, noe som styrker hypotesen om at kloakkutslipp under kraftig regn var årsaken til de forhøyede nivåene rapportert av nitratsensorene. Imidlertid viste analyser av nitratkonsentrasjoner ved hjelp av konvensjonelle analytiske metoder i laboratoriet at sensoravlesningene ikke samsvarte med de faktiske konsentrasjonene. Dette indikerer at sensorene kan ha gitt feilavlesninger under disse hendelsene. NILU er i ferd med å anskaffe analytiske standarder for disse molekylene. Disse standardene vil bli brukt til formelt å bekrefte tilstedeværelsen av forbindelsene og til å undersøke om de kan aktivere nitratsensorene ved relevante konsentrasjoner.

På grunn av registrering av høy forurensning i vannprøvene ble det besluttet å inkludere flere prøver relatert til drikkevann for en grundigere analyse. Disse prøvene omfattet to råvannsprøver, én prøve etter behandling, men før klorering, samt én prøve etter klorering. Dette ga en unik mulighet til å undersøke:

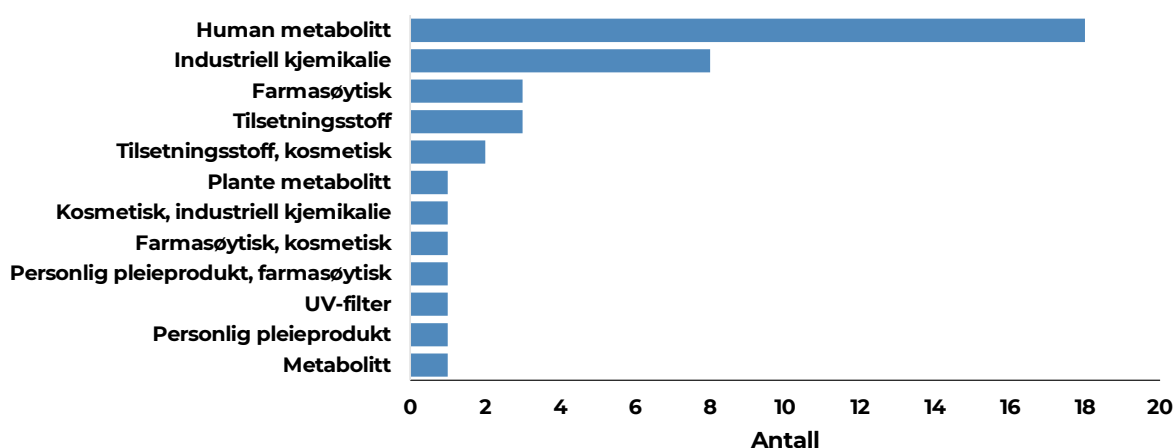
1. hvilke kjemiske forbindelser som effektivt fjernes under behandlingen,
2. hvilke forbindelser som ikke fjernes, og
3. om noen nye forbindelser dannes under behandlingsprosessen ved det studerte anlegget.

Resultatene viste at 17 forbindelser med database-match ble fjernet fra råvannet under behandlingen, hvorav 11 allerede var eliminert før klorering. De identifiserte forbindelsene inkluderer fire menneskelige metabolitter, tre industrikjemikalier og tre legemidler.

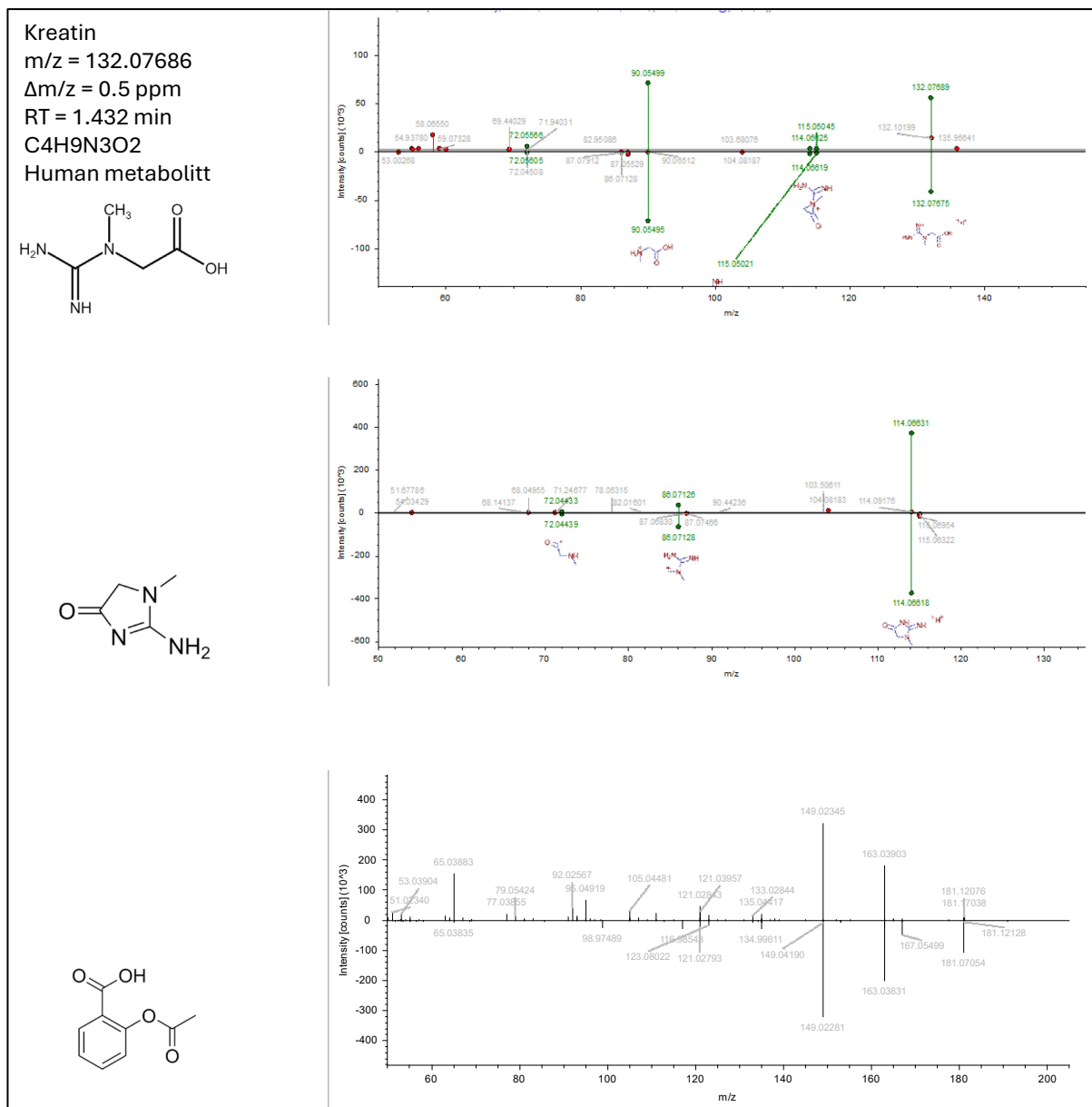
Når det gjelder forbindelser som ikke ble fjernet under behandlingen, ble 31 kjemikalier påvist i råvannet og forble til stede etter behandling. Disse var hovedsakelig tilsetningsstoffer og industrikjemikalier. I tillegg ble disse forbindelsene funnet i lavere konsentrasjoner enn de som ble effektivt fjernet, noe som kan påvirke fjerningseffektiviteten.

Sammenligningen av kjemiske egenskaper viste at forbindelsene som ikke ble fjernet, generelt er mindre og mindre aromatiske enn de som ble eliminert. Av disse hadde 75 % en dobbeltbindingsekvivalent (DBE) lavere enn 4, mens 57 % av forbindelsene som ble fjernet under behandlingen, hadde en DBE på 4 eller høyere.

Samlet sett indikerer funnene at vannbehandlingsprosessene er mest effektive for fjerning av større, aromatiske molekyler som forekommer i høyere konsentrasjoner, mens mindre forbindelser i lavere konsentrasjoner i større grad forblir i det behandlede vannet.



Figur 4 Kjemisk klassifisering av de hendelsesmarkørene med identifisert strukturer i prosjektet.



Figur 5 Spektral samsvar av tre hendelsesmarkører: kreatin (øverst), kreatinin (midten), og aspirin (nederst).

Oppsummering

Denne rapporten beskriver funnene fra en studie bestilt av Nordre Follo kommune og utført av NILU, med delvis finansiering fra Folkehelseinstituttet. Studien hadde to hovedmål: (1) å gjennomføre en uavhengig og omfattende kartlegging av organisk-kjemiske forurensninger i nedbørfeltet til drikkevannskilden Gjersjøen, og (2) å identifisere organiske forbindelser som kan føre til feilavlesninger i nitratsensorer.

Ved hjelp av høyoppløselig massespektrometri (HRMS) og miljøforensiske metoder ble totalt 163 potensielle hendelsesmarkører identifisert. Blant disse var aspirin, kreatin og kreatinin, som ble assosiert med kloakkforurensning under episoder med kraftig nedbør. Studien viste også at vannbehandlingsprosesser i hovedsak er effektive til å fjerne større, aromatiske forbindelser med høyere konsentrasjoner, mens mindre og mindre aromatiske forbindelser i lavere konsentrasjoner i større grad forblir i det behandlede vannet.

Til tross for omfattende analyser forblir mange av de registrerte forbindelsene uidentifiserte, noe som understreker behovet for videre undersøkelser for å avdekke deres opprinnelse og mulige miljøeffekter. Funnene fra denne studien bidrar til økt forståelse av kjemiske interaksjoner som påvirker sensormålinger, og gir verdifull kunnskap som kan brukes i utviklingen av mer presise og pålitelige overvåkingssystemer.

Prosjektet danner grunnlag for utarbeidelse av en vitenskapelig artikkel som skal sendes til publisering. Av den grunn er detaljerte resultater utelatt fra denne rapporten. Når artikkelen er publisert – eller dersom publisering ikke blir mulig – vil den bli oversatt til norsk og inkludert i prosjektets endelige rapportering.

NILU er et norsk, nonprofit og uavhengig klima- og miljøforskningsinstitutt stiftet i 1969. Vi startet som et luftforskningsinstitutt, men har utvidet til å i dag forske på nær alle sider av hvordan mennesker, klima og miljø påvirker hverandre.

Vårt mål er bedre livskvalitet for alle! Det bidrar vi til gjennom vår forskning på atmosfærens sammensetning, klimaendringer, luftkvalitet, miljøgifter, helseeffekter, bærekraftige systemer, sirkulærøkonomi og digitalisering. Til sammen muliggjør dette bærekraftige løsninger på aktuelle samfunns- og næringslivsutfordringer.

www.nilu.no