



Miljø- og
Ligestillingsministeriet
Miljøstyrelsen

Teknologikatalog Innovations- partnerskabet for miljøfarlige forurenende stoffer

MUDP Partnerskab

MUDP

Oktober 2025

Udgiver: Miljøstyrelsen

Redaktion:

Caroline Kragelund Rickers, Teknologisk Institut

Jonathan Guld Christensen, Teknologisk Institut

Karin Cederkvist, Niras

ISBN: 978-87-7564-054-6

Miljøstyrelsen offentliggør rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, som er finansieret af Miljøstyrelsen. Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter. Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

Må citeres med kildeangivelse.

Indhold

Forord	4
1. Resumé	5
2. Innovationspartnerskabet for MFS	8
2.1 Tilgang i Innovationspartnerskabet for MFS	8
3. Regulering	10
3.1 Generelle skærper på området	11
3.2 Skærpet regulering ift. miljøfarlige, forurenende stoffer	14
4. Afholdelse og resultater af workshops	18
4.1 Introduktion til TRL-niveau	18
5. Workshop 1: Tungmetaller	20
5.1 Del 1: Identifikation og prioritering af vandtyper	20
5.2 Del 2: Nuværende teknologier til tungmetalrensning	22
5.3 Del 3: Kortlægning af teknologibehov til forbedret tungmetalfjernelse	23
5.4 Estimeret TRL-niveau af nye renseteknologier	24
5.5 Delkonklusion workshop 1 om tungmetaller	25
6. Workshop 2: Det 4. rensetrin	26
6.1 Præsentation af nuværende teknologier	26
6.2 Del 1: Udviklingsbehov og barrierer for implementering af det 4. rensetrin	32
6.3 Del 2: Håndtering af MFS-koncentreret slam og teknologiske udviklingsbehov	33
6.4 Udviklingsbehov	33
6.5 Teknologibeskrivelser for slamhåndtering	34
6.6 Delkonklusion workshop 2 om det 4. rensetrin	35
7. Workshop 3: PFAS i vand	36
7.1 Casebeskrivelse af rensning ved deponi	36
7.2 Del 1: Udfordringer ved implementering af lovgivning, kildeopsporing og prøvetagning	38
7.3 Del 2: Prioritering af indsatsområder for PFAS og udviklingsbehov	41
7.4 Delkonklusion, workshop 3 om PFAS	41
8. Sammenhæng mellem innovationspartnerskabet og det strategiske partnerskab	43
9. Samlet konklusion	45

Forord

Innovationspartnerskabet for miljøfarlige, forurenende stoffer (MFS) (herefter benævnt Innovationspartnerskabet for MFS) udgjorde en konkret del af det overordnede strategiske partnerskab beskrevet i Miljøministeriets strategi for miljøfarlige stoffer fra 2021. Formålet med Innovationspartnerskabet for MFS var specifikt at understøtte konkret teknologiudvikling og fremme innovative løsninger til reduktion af udledningen af miljøfarlige stoffer til vandmiljøet. Innovationspartnerskabet blev bevilget af MUDP's bestyrelse i 2021 og har ligget under MUDP's sekretariat. Innovationspartnerskabet blev faciliteret af Teknologisk Institut med deltagelse af NIRAS. I forbindelse med tilblivelsen af Innovationspartnerskabet for MFS blev der nedsat en styregruppe bestående af:

- Myndigheder: Repræsentanter fra Miljøstyrelsen og Miljø- og Ligestillingsministeriet, KL og Danske Regioner.
- Brancheforeninger: Repræsentanter fra DANVA, Dansk Industri og Dansk Miljøteknologi.

Miljøstyrelsen og styregruppen har deltaget aktivt i forbindelse med udvælgelsen af workshop-emner og har bidraget med oplæg på de afholdte workshops.

Der er i Innovationspartnerskabet for MFS blevet afholdt tre workshops omhandlende tungmetaller, det kommende 4. rensetrin for spildevandsbehandling og PFAS i vand. Formålet med alle workshops har været dels at få en status på gældende lovgivning, dels at afdække de eksisterende teknologiske løsninger og behovet for yderligere teknologisk innovation. Hvor det er muligt, er der i Teknologikataloget inkluderet information om anlægsomkostninger og driftsudgifter for de teknologiske løsninger. MUDP-projektrapporter fra 2011 og frem er blevet gennemgået med det formål at afdække dels vandmiljøtype, der blev undersøgt ift. MFS, dels rensegrader for MFS samt anlægsomkostninger og driftsudgifter, også benævnt CAPEX/OPEX. Der er gennemgået rapporter for drikkevand og afværgvand, spildevand samt processpildevand fra industrier. Meget få MUDP-udviklingsprojekter har i den ovennævnte periode været gennemført på et tilstrækkelig højt TRL-niveau (Technology Readiness Level), og det har således ikke været muligt at bestemme omkostningerne til renseteknologierne. Derfor er projekterne ikke inkluderet i teknologikataloget; det samme gælder rensegrader og økonomi. Det blev derfor besluttet at supplere med et spørgeskema, der blev rundsendt til teknologileverandører, dels gennem netværk fra DI Vand, Dansk Miljøteknologi og netværk fra Teknologisk Institut og NIRAS, dels til deltagende teknologileverandører fra de to workshops, der omhandlede tungmetaller og 4. rensetrin. Der blev dog ikke foretaget spørgeskemaundersøgelse i forhold til den tredje workshop om PFAS.

1. Resumé

Der var to formål med Innovationspartnerskabet for MFS:

1. At afdække eksisterende teknologiske løsninger til begrænsning af miljøfarlige, forurenende stoffer (MFS) i vandmiljøet og identificere udviklingsbehovet for nye løsninger.
2. At facilitere vidensdeling om MFS-problematikken og mulige løsninger på tværs af forskellige brancher og interessenter.

Innovationspartnerskabet skulle således fungere som et vidensforum, hvor den eksisterende viden om teknologier til MFS-håndtering blev indsamlet, og behovet for nye teknologiske løsninger blev identificeret. Dette skulle ikke alene danne grundlag for konkrete teknologiske fremskridt inden for MFS-rensning, men også give input til den reguleringsmæssige indsats for at begrænse udledningen af MFS til vandmiljøet. Til afdækningen af dels eksisterende teknologier til MFS-begrænsning, dels identificering af udviklingsbehov for nye løsninger og af de lovgivningsmæssige udfordringer blev det valgt at anlægge en modificeret 'Double Diamond'-proces tilgang:

1. Identificerende workshop: Identificere relevante fokusområder.
2. Evaluerende workshop: Identificere muligheder, begrænsninger og udviklingsbehov.

Konkret bestod innovationspartnerskabets arbejde primært af afholdelsen af tre workshops, som fokuserede på henholdsvis tungmetaller, det kommende 4. rensesettrin for spildevandsbehandling og PFAS i vand. Formålet med alle workshops var at samle relevante interessenter, herunder forsyninger, myndigheder, teknologileverandører og forskere, for at skabe et overblik over udfordringer, eksisterende løsninger og udviklingsbehov inden for de tre fokusområder.

Workshop 1 fokuserede på tungmetaller. Formålet var at prioritere vandtyper og at identificere nuværende renseteknologier og fremtidige udviklingsbehov ift. tungmetalfjernelse fra vand.

Spildevand blev prioriteret som den vigtigste vandtype i forhold til tungmetallforurening. Begrundelsen var, at spildevand udgør den største mængde vand med relativt høje koncentrationer af tungmetaller. Almindeligt, belastet overfladevand fra regnskyl og industrielt spildevand blev også prioriteret højt, da de to typer vand kan indeholde høje koncentrationer eller lede til forurening af sårbare recipienter.

Workshoppen afdækkede, at der allerede eksisterer mange forskellige teknologier til fjernelse af tungmetaller fra vand. Teknologierne spænder fra simple, mekaniske metoder som bundfældning og filtrering til mere avancerede membran- og adsorptionsteknologier som ionbytning, aktivt kul og nanofiltrering. Der er således mange tilgængelige løsninger, men også et behov for yderligere optimering og udvikling.

Et af de områder, der blev identificeret som en afgørende barriere for implementering af nye tungmetallteknologier, var lovgivning og regulering. Deltagerne fremhævede behovet for ensartet regulering, klare regler samt administration på tværs af kommuner og virksomheder. Dette ville lette en udvikling af teknologier, der er målrettet specifikke krav, frem for individuelt tilpassede løsninger.

Ud over regulering blev også teknologisk udvikling udpeget som et vigtigt område. Der blev udtrykt behov for mere fleksible og fremtidssikrede løsninger, der kan tilpasses skiftende krav og nye rensesettrin. Fokus bør være på udvikling af billigere teknologier samt metoder til genvinding af tungmetaller i stedet for blot fjernelse af samme.

De identificerede fremtidige teknologier spændte vidt i modenhedsniveau fra grundforskning (TRL 2-4) til næsten markedsklare løsninger (TRL 7-8), hvilket understreger behovet for både langsigtet forskning og mere kortsigtet udvikling og opskalering.

Workshop 2 fokuserede på det 4. rensetrin for spildevandsbehandling. Formålet var at diskutere udfordringer og behov relateret til implementering af teknologier til 4. rensetrin hos de enkelte forsyninger.

En af de centrale udfordringer, der blev identificeret på workshoppen, var manglende viden om effektiviteten af de forskellige renseteknologier til 4. rensetrin og teknologiernes driftsforhold. Der blev udtrykt behov for bedre dokumentation og overvågning. Derudover blev der udtrykt ønske om klare regulatoriske rammer og retningslinjer fra myndighederne, hvad angår implementeringen af det 4. rensetrin, hvilket dog imødekommes med revisionen af EU's byspildevandsdirektiv.

Workshoppen viste, at ozonering og aktivt kul er blandt de mest lovende og modne teknologier til fjernelse af miljøfarlige, forurenende stoffer som lægemidler og pesticider på renseanlæg (TRL 9). Disse teknologier kan forventeligt opfylde de kommende krav i byspildevandsdirektivet. Dog blev det påpeget, at de nuværende løsninger ofte er meget energi- og ressourceintensive, hvilket kan modarbejde forsyningernes mål om energineutralitet.

Der blev identificeret et klart behov for, at fremtidens renseteknologier er mere fleksible og skalerbare, så de nemmere kan tilpasses skiftende krav og nye forurenende stoffer. Derudover skal der være øget fokus på bæredygtige og energieffektive løsninger samt integrerede koncepter, hvor værdifulde ressourcer som kvælstof og fosfor kan genvindes, og ikke som nu ende som restprodukter.

Et særligt fokusområde på workshoppen var håndteringen af restprodukter såsom slam med høje MFS-koncentrationer fra det 4. rensetrin. Der blev identificeret et stort udviklingsbehov for teknologier, der effektivt kan nedbryde eller destruere miljøfarlige stoffer i slammet, uden at det kræver enorme ressourcer i form af materialer og energi. Samtidig skal værdifulde næringsstoffer kunne genvindes.

En gennemgående pointe fra workshoppen var, at en holistisk tilgang er nødvendig for en vellykket implementering af det 4. rensetrin og for håndtering af MFS-slam. Aspekter som ressourceeffektivitet, klimapåvirkning, fleksibilitet og genanvendelse skal indtænkes allerede i designfasen af nye teknologier. Derudover understregede workshoppen betydningen af et styrket tværgående samarbejde mellem alle aktører - forsyninger, myndigheder, teknologileverandører og forskere - for at drive innovationen fremad og sikre bæredygtige løsninger.

Workshop 3 fokuserede på problematikken omkring PFAS i vand og afdækkede en række centrale udfordringer og behov i håndteringen af PFAS og andre miljøfarlige, forurenende stoffer (MFS) i spildevand. Deltagerne udtrykte et klart behov for klare retningslinjer fra Miljøstyrelsen vedrørende implementering af lovgivning, særligt byspildevandsdirektivet, og sammenhæng med håndtering af miljøkvalitetskrav i recipienterne. Der var desuden stor efterspørgsel på øget vidensdeling og flere ressourcer til kildeopsporing og revurdering af tilladelser.

Teknologiske udfordringer stod centralt i diskussionerne med fokus på udvikling af effektive og økonomisk overkommelige renseteknologier, især for PFAS. Deltagerne efterlyste multifunktionelle og bæredygtige løsninger til håndtering af MFS, men udtrykte samtidig bekymring over de økonomiske konsekvenser af at implementere nye teknologier og overholde skærpede krav. Fremtidssikring af investeringer og håndtering af komplekse forureningsscenarier, herunder diffuse kilder og blandingszoner, blev også fremhævet som vigtige fokusområder.

Workshoppen identificerede desuden en række prioriterede indsatsområder, herunder punktkilder, deponier, spildevand, drikkevand, regnvand og bidrag fra landbruget. Historiske PFAS-forureninger og branchespecifikke kildeopsporinger blev ligeledes fremhævet som vigtige fokusområder. Der var stor efterspørgsel på forbedrede analysemetoder for PFAS til opstilling af massebalancer og større udbud af billigere renseteknologier, der kan nå miljøkvalitetskravene (MKK), særligt for kortkædede PFAS.

Slamhåndtering, standardisering af teknologidokumentation og erfaringer med PFAS-rensning i fuldskala var andre vigtige emner, der blev diskuteret. Specifikt blev behovet for effektive løsninger til PFAS-fjernelse fra jord nævnt. Afslutningsvis efterlyste deltagerne oversigter over tilgængelige renseteknologier med tilhørende omkostninger for forskellige vandtyper samt viden

om, hvordan man kan balancere effektiv rensning med bæredygtighed set i forhold til ressource- og energiforbrug.

2. Innovationspartnerskabet for MFS

Innovationspartnerskabet for MFS (miljøfarlige, forurenende stoffer) er et samarbejde faciliteret af Teknologisk Institut og NIRAS. I partnerskabet inddrages relevante interessenter inden for forskellige brancher og sektorer med det formål at adressere problematikken med miljøfarlige stoffer i vandmiljøet.

Innovationspartnerskabet for MFS er finansieret af Miljøteknologisk Udviklings- og Demonstrationsprogram (MUDP) under Miljø- og Ligestillingsministeriet; sekretariatet for MUDP i Miljøstyrelsen deltager i planlægning og udførelse af workshops.

Følgende aktører indgår i partnerskabets styregruppe:

- Myndigheder: Repræsentanter fra Miljø- og Ligestillingsministeriet, Miljøstyrelsen, Miljø- og Ligestillingsministeriet, KL og Danske Regioner.
- Brancheforeninger: Repræsentant fra DANVA, Dansk Industri og Dansk Miljøteknologi.

Hvor det strategiske partnerskab i ministeriet har et bredt sigte om at styrke den samlede nationale indsats, er innovationspartnerskabets formål specifikt rettet mod den teknologiske dimension - at afdække eksisterende og fremtidige teknologibehov og fremme udviklingen af nye, innovative renseløsninger til begrænsning af miljøfarlige stoffer i udledninger til vandmiljøet. Derved understøtter innovationspartnerskabet en central del af den samlede strategi for miljøfarlige, forurenende stoffer (MFS).

Regulering af MFS i vandmiljøet sker i dag gennem:

- EU's vandrammedirektiv med tilhørende datterdirektiver.
- Nationale love, bekendtgørelser og vejledninger, som bl.a. implementerer EU-reguleringen i dansk lovgivning.

Reguleringen sker således både gennem overordnede EU-direktiver og national lovgivning, som konkret udmønter sig i udledningskrav i tilladelser under overholdelse af fastsatte miljøkvalitetskrav for vandmiljøet. Dette beskrives nærmere i afsnittet om regulering 3.

2.1 Tilgang i Innovationspartnerskabet for MFS

Innovationspartnerskabet for MFS har følgende overordnede formål:

- At afdække eksisterende teknologiske løsninger til begrænsning af MFS i vandmiljøet og identificere udviklingsbehov for nye løsninger.
- At facilitere vidensdeling om MFS-problematikken og mulige løsninger på tværs af forskellige brancher og interessenter.
- At fremme teknologiudvikling og innovation inden for renseløsninger, der reducerer udledning af MFS.

Teknologisk Institut og NIRAS var i tæt samarbejde med den MUDP-ansvarlige for den overordnede facilitering af innovationspartnerskabet gennem aktiviteter som workshops, interviews, vidensindsamling og udarbejdelse af rapporter og teknologikatalog. Formålet var at skabe et vidensforum, hvor eksisterende viden blev indsamlet, og behovet for nye teknologiske løsninger blev identificeret. Partnerskabets arbejde danner grundlag for konkrete teknologiske fremskridt og bidrager desuden til at give input til den konkrete myndighedsmæssige indsats for at begrænse udledningen af MFS til vandmiljøet.

Der blev afholdt i alt tre workshops, der fokuserede på hhv. problematikken med udledning af tungmetaller, kommende implementering af det 4. rensesettrin på centralrenseanlæg samt PFAS. Workshopmetodikken tager afsæt i innovationsprocessen 'Double Diamond' for at sikre en dyb forståelse af udfordringer og muligheder inden for hvert fokusområde. Den valgte tilgang var modificeret således, at den identificerende og evaluerende workshop blev afholdt i samme session, som nærmere beskrevet nedenfor:

1. Den identificerende del af workshoppen identificerer relevante fokusområder (f.eks. miljøeffekter, forekomst og myndighedsbehandling).
2. Den evaluerende del af workshoppen identificerer muligheder, begrænsninger og udviklingsbehov - både tekniske og lovgivningsmæssige på baggrund af det indsamlede data.
3. Der suppleres med en vidensindsamlingsfase, hvor primært relevante MUDP-udviklingsprojekter målrettet reduktion af MFS gennemgås, og hvor teknologiudviklingen resulterer i en foreløbig businesscase. Det blev dog tydeligt ved gennemgang af ellers relevante MUDP-projekter af ældre dato, at der ikke kunne findes ensartet data af tilstrækkelig kvalitet til at kunne opstille teknologierne med rensegrader og økonomi. Der er derfor ikke inkluderet data fra de gennemgåede MUDP-projekter i teknologikataloget. I stedet blev der oprettet et elektronisk spørgeskema, som blev rundsendt til forskellige aktuelle teknologileverandører mhp. at indhente yderligere information om teknologier til fjernelse af MFS og omkostninger hertil.
4. Der er identificeret et udviklingsbehov, herunder muligheder for nye, bedre og mere bæredygtige renseløsninger, for den pågældende MFS-gruppe.

Udbyttet af de tre afholdte workshops er samlet i nærværende teknologikatalog, som består af en gennemgang af den politiske dagsorden og reguleringsmæssige indsats, en beskrivelse af MFS af størst interesse samt en gennemgang af resultater fra de tre gennemførte workshops. Resultaterne er afslutningsvis opsummeret i tabelform for at tydeliggøre de nuværende teknologier og de fremtidige udviklingsbehov.

3. Regulering

EU's vandrammedirektiv skal sikre beskyttelsen af vandløb, søer, kystvande og grundvand i alle EU-lande (EU, 2000). Direktivet fastsætter miljømål og overordnede rammer for planlægning, gennemførelse af tiltag og overvågning af vandmiljøet. I henhold til vandrammedirektivet skal alle vandområder – i skrivende stund - have opnået god økologisk og kemisk tilstand i 2027.

På baggrund af rammerne i direktivet skal Danmark og de øvrige EU-lande gennemføre en målrettet vandplanlægning for grundvand, vandløb, søer og den kystnære del af havet.

Det helt centrale element i vandplanlægningen er vandområdeplanerne med indsatsprogrammer og miljømål, som i Danmark er implementeret i en række forskellige love og bekendtgørelser. Bl.a. lov om vandplanlægning¹ og bekendtgørelse om indsatsprogrammer for vandområdedistrikter² er vigtige elementer i implementeringen af vandrammedirektivet.

God tilstand i et overfladevandområde er opnået, når vandområdet har god kemisk tilstand og god økologisk tilstand³. Den kemiske tilstand er baseret på tilstedeværelsen af EU-prioriterede miljøfarlige, forurenende stoffer (MFS), og den økologiske tilstand omfatter tilstedeværelsen af en række biologiske kvalitetselementer og nationalt specifikke miljøfarlige, forurenende stoffer (MFS)⁴⁵.

Et vandområde er i god tilstand, hvad angår MFS, når målte stoffkoncentrationer ikke overskrider miljøkvalitetskrav (MKK). Hvis blot ét stof overskrider gældende miljøkvalitetskravet⁶ i vandområdet, klassificeres tilstanden som værende ikke-god.

For de EU-prioriterede stoffer er miljøkvalitetskrav oplistet i direktivet om miljøkvalitetsstandarder⁷ og kan findes i dansk lovgivning i bekendtgørelsen om fastlæggelse af miljømål for vandløb, søer, overgangsvande, kystvande og grundvand⁵. For de nationalt specifikke MFS gælder det, at disse ikke må overskride de nationalt fastsatte miljøkvalitetskrav, der er oplistet i samme bekendtgørelse.

I revisionen af EU-direktivet for miljøkvalitetsstandarder fra 2012 var der for overfladevand fastsat krav for 45 stoffer/stofgrupper, der omfatter EU-prioriterede stoffer og visse andre stoffer (for 15 af disse er der fastsat krav både i vand og biota, for resten er der kun fastsat krav i vand).

¹ LBK nr. 126 af 26/01/2017: Bekendtgørelse af lov om vandplanlægning.

² BEK nr. 797 af 13/06/2023: Bekendtgørelse om indsatsprogrammer for vandområdedistrikter.

³ For grundvand er den gode tilstand opnået, når der er god kemisk og god kvantitativ tilstand.

⁴ BEK nr 819 af 15/06/2023: Bekendtgørelse om miljømål for overfladevandområder og grundvandsforekomster.

⁵ BEK nr. 796 af 13/06/2023. Bekendtgørelse om fastlæggelse af miljømål for vandløb, søer, overgangsvande, kystvande og grundvand.

⁶ Miljøkvalitetskrav (MKK) er den koncentration af et bestemt forurenende stof eller gruppe af forurenende stoffer i vand, sediment eller biota, som ikke bør overskrides af hensyn til beskyttelsen af menneskers sundhed og miljøet.

⁷ EUROPA-PARLAMENTETS OG RÅDETS DIREKTIV 2008/105/EF af 16. december 2008

I Danmark er der fastsat krav for 135 nationalt specifikke stoffer/stofgrupper i vand (for 9 af disse er der fastsat krav i både vand, sediment og/eller biota, for resten er der kun fastsat krav i vand). Der er yderligere fastsat nationale krav for 6 EU-prioriterede stoffer i sediment og/eller biota⁸. Hvis blot et af disse MFS overskrider miljøkvalitetskravet, medfører det, at vandområdet karakteriseres tilstanden som ikke-god.

3.1 Generelle skærper på området

Vandrammedirektivet trådte i kraft i 2000 og skulle oprindeligt være opfyldt i 2015 med mulighed for fristforlængelse til 2027. På nuværende tidspunkt er Danmark langt fra at nå målet om god tilstand i de danske vandområder inden udgangen af 2027. Det skyldes bl.a., at miljøkvalitetskravet for et eller flere MFS er overskredet i mange af vandområderne⁹. Den dårlige tilstand i vandområderne gør sig også gældende i resten af EU.

Både direktiver og national lovgivning bliver løbende opdateret for at forbedre forholdene for vandmiljøet. I 2022 blev der stillet forslag om tilføjelse af 22 individuelle stoffer til listen over de 45 prioriterede stoffer i overfladevand i direktivet om miljøkvalitetsstandarder¹⁰. Dette inkluderer pesticider såsom glyphosat, visse lægemidler (smertestillende midler, antiinflammatoriske lægemidler og antibiotika), bisphenol A og sølv¹¹. Derudover blev der fremsat krav til summen af 24 per- og polyfluoralkylstoffer (PFAS), hvor der tidligere kun har været krav til PFOS (Europa-Parlamentet, 2024). Samtidig er der også stillet forslag om strengere krav for 14 stoffer, der allerede indgår, herunder pesticider, kviksølv og nikkel, PAH'er og nonylphenol. Forslaget er dog endnu ikke vedtaget.

Vandrammedirektivet understøttes af mere målrettede direktiver, de såkaldte datterdirektiver, som bl.a. tæller direktivet om rensning af byspildevand (byspildevandsdirektivet), der oprindeligt stammer fra 1991¹². Byspildevandsdirektivet, der har til formål at beskytte miljøet mod virkninger fra udledninger af byspildevand og fra industrien, har været under revision med henblik på at forbedre spildevandsbehandlingen. Revisionen blev endeligt vedtaget af EU's ministerråd den 5. november 2024¹³. Direktivet skal nu implementeres i national lovgivning, og denne proces skal være afsluttet inden for tre år. Bl.a. medfører ændringerne, at direktivets anvendelsesområde udvides til at omfatte mindre bebyggelser end hidtil, at princippet om forurenere betaler kommer til at gælde for producenter af lægemidler og kosmetiske produkter, at energiforbrug og udledning af klimagasser fra spildevandsbehandlingen skal reduceres, og at der kommer strammere krav til overvågning af og rensning for næringssalte med særligt fokus på kvælstof og fosfor. Endelig indføres der med ændringerne krav til overvågning af og rensning for MFS.

De vigtigste punkter i det nye byspildevandsdirektiv er fremhævet nedenfor:

⁸ BEK nr. 796 af 13/06/2023. Bekendtgørelse om fastlæggelse af miljømål for vandløb, søer, overgangsvande, kystvande og grundvand.

⁹ MiljøGIS, 2024, (DCE, 2024a) (DCE, 2024b) (DCE, 2024c) (DCE, 2024d).

¹⁰ EU 2008, EU 2022.

¹¹ Bisphenol A og sølv er allerede omfattet af de nationalt specifikke stoffer i Danmark.

¹² RÅDETS DIREKTIV af 21. maj 1991 om rensning af byspildevand (91/271/EØF).

¹³ EUROPA-PARLAMENTETS OG RÅDETS DIREKTIV (EU) 2024/3019 af 27. november 2024 om rensning af byspildevand.

Kloaknet og opsamling:

- Alle byområder med 2.000 PE (personækvivalenter) og derover skal have kloaknet.
- Byområder med 1.000-2.000 PE skal have kloaknet senest 31. december 2035 (individuelle systemer kan anvendes, hvis kloaknet ikke er muligt eller økonomisk forsvarligt. De individuelle systemer skal dog registreres og kontrolleres regelmæssigt).

Integrerede planer for forvaltning af byspildevand:

- Skal udarbejdes for byområder med 100.000 PE og derover senest 31. december 2033.
- For byområder med 10.000-100.000 PE, hvor der er risiko for miljøet eller folkesundheden, senest 31. december 2039.

Sekundær rensning (fjernelse af organisk materiale):

- Krav til sekundær rensning for byområder med 1.000 PE og derover senest 31. december 2035.

Tertiær rensning (fjernelse af næringsstoffer, særligt kvælstof og fosfor):

- Krav til tertiær rensning for rensningsanlæg med 150.000 PE og derover senest 31. december 2039.
- For byområder med 10.000 PE og derover i følsomme områder¹⁴ senest 31. december 2045.

Kvaternær rensning (fjernelse af MFS, "det 4. rensetrin"):

- Krav til kvaternær rensning for rensningsanlæg med 150.000 PE og derover senest 31. december 2045.
- For byområder med 10.000 PE og derover i følsomme områder senest 31. december 2045.

En oversigt over de vigtigste dele af implementeringen er opsummeret nedenfor:

- 31. december 2028: Etablering af nationale systemer for overvågning og kontrol.
- 31. december 2030: Første energisyn for rensningsanlæg med 100.000 PE og derover.
- 31. december 2033: Integrerede planer for byområder med 100.000 PE og derover.
- 31. december 2035: Sekundær rensning for byområder med 1.000-2.000 PE.
- 31. december 2039: Tertiær rensning for rensningsanlæg med 150.000 PE og derover.
- 31. december 2045: Kvaternær rensning for rensningsanlæg med 150.000 PE og derover og for byområder med 10.000 PE og derover i følsomme områder.

Særligt relevant for Innovationspartnerskabet for MFS er det øgede fokus på rensning af MFS, idet der med artikel 8 i det reviderede direktiv indføres en forpligtelse til at anvende yderligere et 4. rensetrin. Det 4. rensetrin, der også kaldes den kvaternære rensning, for rensningsanlæg, der renser byspildevand med en belastning på 150.000 PE og derover, skal senest være implementeret på alle rensningsanlæg i 2045 (med 20 % i 2033 og 60 % i 2039). Implementeringen i 2045 gælder også byområder med 10.000 PE og derover i følsomme områder. Det 4. rensetrin er et behandlingstrin ud over de tre traditionelle rensetrin (mekanisk, biologisk og kemisk rensning), der skal tilføjes i spildevandsbehandlingen for at fjerne det bredest mulige spektrum af MFS. Et ekstra behandlingstrin kan f.eks. være ozonering, adsorption med aktivt kul, filtrering med membraner eller UV-desinfektion, ofte i kombination, som også beskrevet i nærmere i afsnittet Workshop 2: Det 4. rensetrin.

For at overvåge rensningen af MFS indeholder direktivet forslag til indikatorstoffer (lægemidler og enkelte korrosionsstoffer) inden for gruppen af MFS. Der er således 13 stoffer nævnt i bilag

¹⁴ Følsomme områder er defineret som ferske vandområder, som er eutrofiske, eller som er i risiko for at blive eutrofiske. Overfladevandsområder, der fungerer som indvindingsområder for drikkevand. Andre vandområder, hvor yderligere behandling er nødvendig for at sikre, at målene i andre direktiver opfyldes (EPRS, European Parliamentary Research Service, 2024).

1 til direktivet¹⁵. De er opdelt i kategori 1 og kategori 2 og fremgår af TABEL 1 nedenfor. Der er i det vedtagne direktiv krav til, at den mindste procentvise rensegrad er 80 %, og følgende fremgår af bilaget:

'Procentsatsen for fjernelse beregnes ved tørvejrstrømning for mindst seks stoffer. Der skal være dobbelt så mange stoffer i kategori 1 som i kategori 2. Hvis der kan måles færre end seks stoffer i tilstrækkelige koncentrationer, vælger den kompetente myndighed andre stoffer til beregning af minimumsprocentsatsen for fjernelse, når det er nødvendigt. Den gennemsnitlige specifikke procentsats for fjernelse af alle de individuelle stoffer, der anvendes i beregningen, skal anvendes til at vurdere, om den påkrævede minimumsprocentsats for fjernelse på 80 % er nået.'

TABEL 1. Oversigt over lægemidler og korrosionsmidler, der i forslaget til byspildevandsdirektivet indgår i hhv. kategori 1 og kategori 2, og som skal reduceres med minimum 80 % i danske renseanlæg.

Kategori 1 (stoffer, der let kan fjernes)	Kategori 2 (stoffer, der let kan bortskaffes)
Amisulprid	Benzothiazol
Carbamazepin	Candesartan
Citalopram	Irbesartan
Clarithromycin	Blanding af 4-methylbenzotriazol og 5-methyl-benzotriazol
Diclofenac	
Hydrochlorthiazid	
Metoprolol	
Venlafaxin	

I Danmark er der dog på nuværende tidspunkt også nationale tiltag på vej, som har betydning for rensning af spildevand. Bl.a. er en revideret vejledning nr. 77 om tilslutning af industrispildevand til offentlige spildevandsanlæg¹⁶ offentliggjort 2025. Denne lægger op til dels skærpede vejledende grænseværdier for 11 stoffer, dels tilføjelse af grænseværdier for yderligere 17 stoffer, inklusive PFAS 24.

Samtidig har afgørelser i Miljø- og Fødevarerklagenævnet medført skærpet praksis på området og en revision af Miljøstyrelsens "Vejledning til bekendtgørelse om indsatsprogrammer for vandområdedistrikter"¹⁷. Afgørelser har desuden medført revision af dele af Miljøstyrelsens "Spørgsmål og svar om udledning af visse forurenende stoffer til vandmiljøet"¹⁸.

Disse revisioner og skærper på området vil berøre mange nuværende og kommende udledninger, og der er ingen tvivl om, at der fremover vil være behov for mere målrettet rensning af vand for MFS og næringsstoffer. Dette nødvendiggør, at der findes nye renseløsninger.

¹⁵ EUROPA-PARLAMENTETS OG RÅDETS DIREKTIV (EU) 2024/3019 af 27. november 2024 om rensning af byspildevand.

¹⁶ VEJ nr. 77/2025 - ISBN: 978-87-7564-026-3.

¹⁷ VEJ nr. 9210 af 18/04/2024.

¹⁸ Miljøstyrelsen, 2024.

3.2 Skærpet regulering ift. miljøfarlige, forurenende stoffer

Fra 2027 skal myndighederne i EU's medlemsstater sikre overvågning af flere aspekter relateret til spildevandsbehandling:

5. Koncentrationer af MFS i udledninger fra rensningsanlæg.
6. Mængde, sammensætning og bestemmelsessted for slam.
7. Mængden af genbrugt, rensed byspildevand til vanding i landbrug.
8. Producerede drivhusgasser samt energiforbrug og -produktion for rensningsanlæg med over 10.000 personækvivalenter (PE).

For alle rensningsanlæg, der betjener byområder med over 10.000 PE, skal der ved indløb og udløb måles koncentrationer og belastninger af forurenende stoffer, som fremgår af:

- vandrammedirektivet
- direktiv om miljøkvalitetskrav inden for vandpolitikken
- direktiv om beskyttelse af grundvandet mod forurening og forringelse
- ændring af prioriterede stoffer i vandrammedirektivet
- forordning om oprettelse af et europæisk register over udledninger og overførsel af forurenende stoffer og om ændring af Rådets direktiv 91/689/EØF og 96/61/EF
- direktiv om anvendelse af slam fra rensningsanlæg i landbruget
- direktiv om kvaliteten af drikkevand.

Overvågningshyppigheden er fastsat som følger:

- For byområder med 150.000 PE og derover: Mindst to prøver om året med højst 6 måneder mellem prøverne.
- For byområder mellem 10.000 PE og 150.000 PE: Mindst én prøve hvert andet år.

Der er mulighed for at halvere prøvetagningsfrekvensen for stoffer, der ikke findes i væsentlige mængder.

Disse overvågningskrav understreger et øget fokus på at spore og kontrollere udledningen af PFAS og andre miljøfarlige stoffer fra rensningsanlæg med henblik på at beskytte vandmiljøet og menneskers sundhed.

Regulering af spildevand fra industrier til offentlige spildevandsanlæg er indtil nu sket ud fra Vejledning fra Miljøstyrelsen nr. 2, 2006, men i de sidste år har der været arbejdet intensivt på at få denne vejledning opdateret og der er netop offentliggjort en revideret tilslutningsvejledning nr. 77/2025.

De væsentligste ændringer i "Tilslutning af industrispildevand til spildevandsforsyningsselskabernes spildevandsanlæg"¹⁹, er opridset nedenfor:

9. Ny ABC-vurdering: Metoden til klassificering af organiske stoffers miljøfarlighed forenkles ved at basere vurderingen på stoffernes CLP-faresætninger. Metoden lægger større vægt på miljøhensyn og tager højde for både akut og kronisk giftighed.
10. Skærpede grænseværdier: Vejledende grænseværdier opdateres med differentiering mellem udledning til marint og ferskt vand. Dette resulterer i skærpede grænseværdier for 11 stoffer, mens grænseværdierne for 3 stoffer forbliver uændrede.
11. Nye grænseværdier: Vejledningen introducerer grænseværdier for yderligere 17 stoffer, inklusive PFAS24, for både marint og ferskt vand, baseret på gældende miljøkvalitetskriterier og -krav.

De danske spildevandsregulativer er designet til at adressere en bred vifte af industrier, især industrier med betydelig miljøpåvirkning. De fleste af nøgleindustrierne er tilsluttet offentlig

¹⁹ VEJ nr. 77/2025 - ISBN: 978-87-7564-026-3.

kloak og tillæder derfor deres spildevand til renseanlæg. De nøgleindustrier, der er i fokus, omfatter bl.a.²⁰:

- **Fødevarer- og drikkevarerindustrien:** Denne sektor genererer store mængder organisk affald, hvilket fører til højt biokemisk iltforbrug (BOD) og kemisk iltforbrug (COD) i spildevandet.
- **Kemisk industri:** Kemiske produktionsprocesser involverer ofte brugen af miljøfarlige, forurenende stoffer, der kan forurene spildevand.
- **Farmaceutisk industri:** Farmaceutiske produktionsfaciliteter kan udlede spildevand, der indeholder aktive farmaceutiske ingredienser (APIs) og andre forureningsstoffer.
- **Metalbehandlingsindustrien:** Denne industri anvender forskellige kemikalier, såsom syre, baser og tungmetaller, der kan forurene vandkilder.
- **Tekstilindustrien:** Tekstilarvnings- og afslutningsprocesser genererer spildevand, der indeholder farvestoffer, kemikalier og fibre.

Det er et ønske med vejledningen "Tilslutning af industrispildevand til spildevandsforsynings-selskabernes spildevandsanlæg" at sikre, at der ikke tilledes stoffer til kloaknettet, som senere kan forurene recipienten. Ligeledes er det i byspildevandsdirektivet beskrevet, hvordan alle tilslutnings- og udledningstilladelser skal fornyes hvert 10. år. Udledning af industrispildevand kan ske enten direkte til recipient, hvor gældende miljøkvalitetskrav skal overholdes, jf. vandrammedirektivet, og som forudsætter renseteknologi hos industrierne, eller der kan tilledes processpildevand til kloak, hvor spildevandet efterfølgende håndteres i renseanlæg. Dog forventes det, at der for flere industrier vil skulle implementeres renseløsninger til fjernelse/reduktion af miljøfarlige, forurenende stoffer fra deres processpildevand inden tilledning til centralrenseanlæg.

I Danmark er der udarbejdet en decideret PFAS-handlingsplan²¹, som skal sikre reduktion af udledning af PFAS til miljøet. Handlingsplanen, der blev offentliggjort i maj 2024, løber til og med 2027 og repræsenterer en første fase i indsatsen mod PFAS. Aftaleparterne er enige om at afsætte 404 mio. kr. i årene 2024-2027. Efter 2027 skal der tages stilling til fremadrettede indsatser mod PFAS-forurening. Handlingsplanen lægger vægt på en bred, tværfaglig tilgang til PFAS-problematikken med fokus på både forebyggelse, håndtering af eksisterende forurening og udvikling af fremtidige løsninger. Den understreger behovet for samarbejde mellem myndigheder, forskningsinstitutioner og industrien for at tackle denne komplekse miljøudfordring.

Reguleringen medfører skærpede krav til monitorering og kontrol af PFAS, særligt for spildevandsrensningsanlæg²². Dette indebærer systematisk kvantificering af PFAS-koncentrationer i indløbsvand og udløbsvand, obligatorisk revurdering af udledningstilladelser med intervaller på 6-10 år samt intensiveret dataindsamling vedrørende miljøfarlige stoffer, herunder de 24 specificerede PFAS, kvantificeret som PFOA-ækvivalenter, se TABEL 2 og TABEL 3.

Der forventes yderligere stramninger og justeringer af PFAS-reguleringen i den nærmeste fremtid, både på EU-niveau og på nationalt plan. Dette understreger den dynamiske natur af PFAS-reguleringen, som kontinuerligt tilpasses ny videnskabelig indsigt og teknologiske fremskridt med henblik på at minimere PFAS-forurening i miljøet, med særlig vægt på beskyttelse af akvatiske økosystemer.

²⁰ <https://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2016/12/978-87-93529-43-4.pdf>

²¹ https://mim.dk/media/oilbo4n/pfas-national-handlingsplan_maj2024.pdf

²² <https://mst.dk/media/3cspqvjh/graensevaerdier-ved-miljoestyrelsen.pdf>

TABEL 2. Grænseværdier for PFAS i drikkevand, overfladevand og slam. Fra Miljøstyrelsens hjemmeside.

	PFAS-gruppe	Grænseværdi	Enhed
Drikkevand*	PFOA, PFOS, PFNA og PFHxS (sum)	2	ng/l
	12 PFAS (sum)	100	ng/l
	22 PFAS (sum)	100	ng/l
Overfladevand			
Ferskvand	PFOS	0,65	ng/l
Havvand	PFOS	0,13	ng/l
Fersk- og havvand	24 PFAS (PFOA-ækvivalenter)**	4,4	ng/l
Slam ***	4 PFAS	0,01	mg/kg tørstof
	22 PFAS	0,4	mg/kg tørstof

Note: PFOA-ækvivalenter beregnes ved hjælp af relative potensfaktorer (RPF) for forskellige PFAS-forbindelser.

* Dansk regulering bygget på EU regulering.

** Dansk regulering bygget på forventet EU-regulering.

*** Dansk regulering.

Det forventes desuden, at måling af total PFAS også skal ske i drikkevand, og her forventes der en EU-regulering.

PFOA-ækvivalenter er også en ny del af den danske lovgivning, hvor der er opstillet et miljøkvalitetskriterie for 24 PFAS beregnet som PFOA-ækvivalenter på 4,4 ng/l ved udledning til ferske og marine recipienter. De relative potensfaktorer for de 24 PFAS-stoffer, der skal anvendes ved beregning af PFOA-ækvivalenter, er angivet nedenfor.

TABEL 3. Overblik over relative potens faktorer for PFAS24 til beregning af PFOA-ækvivalenter²³.

	Relative Potency Factor (RPF)		Relative Potency Factor (RPF)
PFOA	1	PFHpA	0,01 ≤ RPF ≤ 1
PFOS	2	PFTrDA	0,3 ≤ RPF ≤ 3
PFHxS	0,6	PFHpS	0,6 ≤ RPF ≤ 2
PFNA	10	PFDS	2
PFBS	0,001	PFTeDA	0,3
PFHxA	0,01	PFHxDA	0,02
PFBA	0,05	PFODA	0,02
PFPeA	0,01 ≤ RPF ≤ 0,05	HFPO-DA eller Gen X	0,06
PFPeS	0,001 ≤ RPF ≤ 0,6	ADONA	0,03
PFDA	4 ≤ RPF ≤ 10	6:2 FTOH	0,02
PFDoDA eller PFDoA	3	8:2 FTOH	0,04
PFUnDA eller PFUnA	4	C6O4	0,06

²³ <https://mst.dk/media/3cspqvjh/grænsevaerdier-ved-miljoestyrelsen.pdf>

TABEL 4. Forskel mellem PFAS 22 og de nye krav til PFAS 24 PFOAe.

Udfaset ift. PFAS 22	Nye på listen ift. PFAS 22
PFNS	PFTeDA
PFUnDS	PFHxDA
PFDoDS	PFODA
PFTTrDS	6:2 FTOH
PFOSA	8:2 FTOH
6:2 FTS	HEPO-DA (Gen X)
	ADONA
	C6O4

TABEL 4 angiver rækken af PFAS-stoffer, der ikke længere medtages i beregning af PFAS-udledning i overgangen fra sum af PFAS 22 til sum af PFAS 24 angivet som PFOAe. Oversigten er således ikke et udtryk for, at disse stoffer er udfaset mht. brug eller ikke længere findes i spildevandstrømme, men er et udtryk for, at stofferne ikke længere medtages i beregning af forurening fra en given kilde. I stedet er de på listen over PFOA-ækvivalenter erstattet med otte nye stoffer, som man ikke før har monitoreret i spildevandsudledning.

4. Afholdelse og resultater af workshops

Det primære arbejde i Innovationspartnerskabet for MFS har været at facilitere tre workshops. Fokus for disse workshops er blevet besluttet i samråd med styregruppen og er udvalgt blandt følgende mulige emner:

1) **Perfluorerede forbindelser (PFAS)**; 2) **farmaceutiske stoffer, herunder antibiotika, og østrogener**; 3) **tungmetaller**; 4) aromatiske kulbrinter, herunder PAH; 5) fenoler; 6) blødgørere; 7) pesticider og 8) mikroplast.

Tilstedeværelsen af perfluorerede forbindelser (PFAS) og tungmetaller blev identificeret som de mest aktuelle problematikker. Valget faldt imidlertid i første omgang på tungmetaller ud fra den betragtning, at tungmetaller endnu ikke havde været i fokus i samme grad som perfluorerede forbindelser.

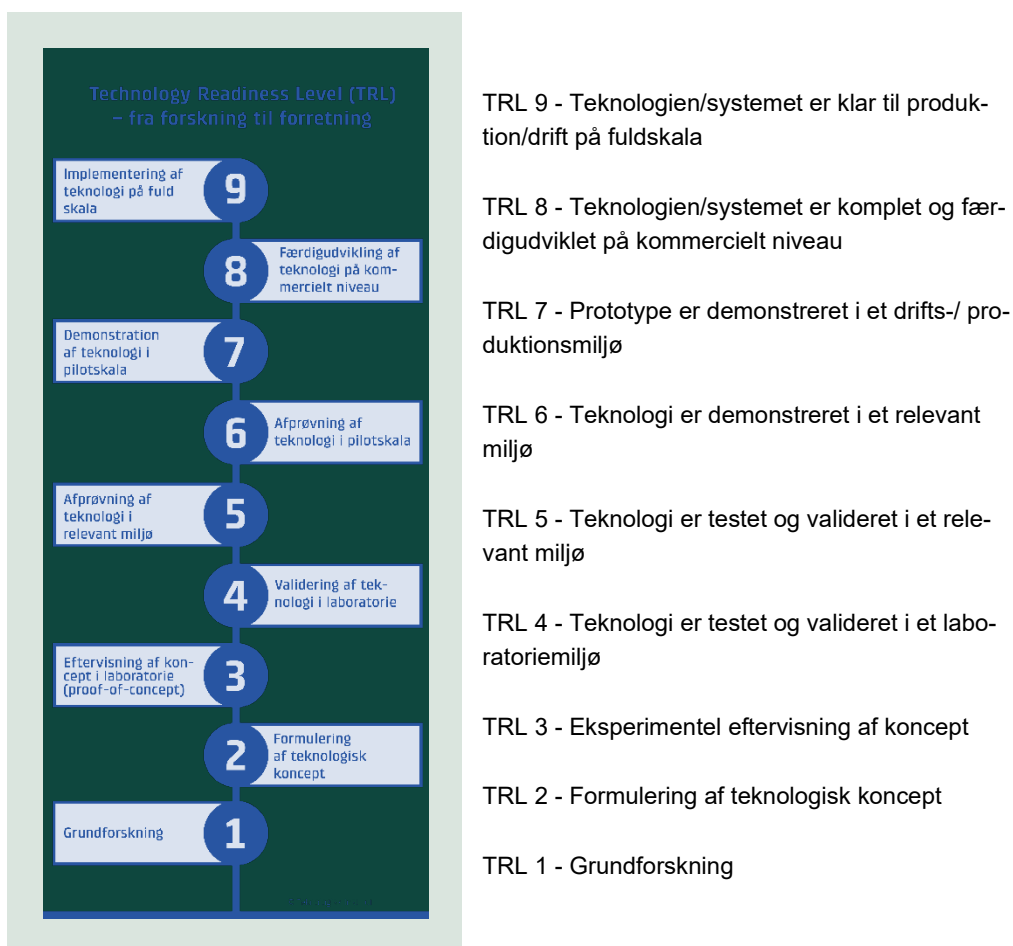
Valget af fokus for anden workshop faldt på farmaceutiske stoffer, herunder antibiotika, da de er højaktuelle i forbindelse med implementering af det 4. rensetrin på forsyningsselskabernes renseanlæg frem mod 2040. Her stilles netop krav til rensegrader for en række farmaceutiske stoffer.

Den sidste workshop, som blev afholdt i Innovationspartnerskabet for MFS, omhandlede PFAS, da PFAS har haft stor bevågenhed de seneste år. Der har været igangsat en lang række af initiativer ift. PFAS, bl.a. inden for jord, hvorfor fokus for workshoppen var på PFAS i vand.

4.1 Introduktion til TRL-niveau

En vigtig del af resultaterne fra de to workshops var at identificere nuværende og fremtidige behov for teknologier til vandbehandling, mht. både tungmetalfjernelse og fjernelse af farmaceutiske stoffer.

For at beskrive teknologiers modenhed i forhold til fuldskalaimplementering anvendes begrebet Technology Readiness Level (TRL), se FIGUR 1. Som angivet på figuren, bevæger teknologier sig op i TRL-niveauet fra grundforskning, til pilotskala og hele vejen til fuldskala. Oversættelsen af TRL-definitioner er baseret på definitioner fra EU's Horizon 2020.



FIGUR 1. Overblik over Technology Readiness Level-niveauer for teknologi-udviklingen (TRL).

5. Workshop 1: Tungmetaller

Som det allerede er beskrevet, er tungmetaller en stor udfordring for vandmiljøet i Danmark. I mange recipienter overskrider et eller flere tungmetaller miljøkvalitetskravene og er dermed medvirkende til, at der ikke er god kemisk og økologisk tilstand i det pågældende vandmiljø. På den baggrund blev tungmetaller valgt som særlige fokusstoffer for workshop 1. Formålet med denne workshop var at:

- Identificere og prioritere relevante vandtyper, hvor tungmetaller findes i for høje koncentrationer, og som således kan være problematiske ved udledning til vandmiljøet.
- Identificere og rangere eksisterende teknologier, der anvendes til fjernelse af tungmetaller.
- Identificere behov for udvikling af ny teknologi samt barrierer for udvikling og implementering heraf.

I det samlede billede for dette teknologikatalog skulle workshoppen bidrage til prioritering af dels problematiske vandkilder til forurening af vandmiljøet, dels indsatsområder. Derfor var programmet sammensat for som udgangspunkt at få overblik over og indblik i følgende:

- De kemiske tilstande i det danske vandmiljø (Miljøstyrelsen).
- Regulering af MFS i vandmiljøet (Miljø- og Ligestillingsministeriet).
- Hvordan ovenstående ser ud i praksis fra en forsynings perspektiv (Hillerød Forsyning).

Deltagerne til workshoppen var inviteret gennem bl.a. netværk og via LinkedIn, og de repræsenterede følgende grupper:

- **Forsyninger:** 7 forsyninger, herunder BIOFOS, Hillerød Forsyning, Novafos, Silkeborg Forsyning, Fors, Lyngby-Taarbæk Forsyning.
- **Brancheforeninger og lovgivere:** Danva, Dansk Miljøteknologi, DI Vand, Kommuner og Miljøstyrelsen samt Miljø- og Ligestillingsministeriets departement.
- **Industrivirksomheder:** RGS Nordic, Argo, Duferco, DOT, Fjernvarme Fyn, Kalundborg bio-refinery.
- **Teknologileverandører:** Krüger, C4B, BG Byggros, DanSand, Alumichem, Larkom.
- **Vidensinstitutioner og rådgivere:** Teknologisk Institut, DTU Sustain, COWI, Krüger, NIRAS.

Workshoppen samlede således en bred vifte af interessenter fra forskellige sektorer og perspektiver relateret til forureningskilder til vandmiljøet og teknologiv ønsker. Interessenterne omfattede bl.a. forsyninger, myndigheder, brancheforeninger, teknologileverandører, rådgivere og vidensinstitutioner.

Selve workshoppen bestod af tre dele. Første del med overskriften 'Identifikation og prioritering af hver vandtype med fokus på tungmetaller' havde til formål at identificere og prioritere de mest belastende vandtyper i forhold til forurening af vandmiljøet med tungmetaller. Anden del af workshoppen omhandlede, hvilke løsninger der findes til rensning af de identificerede og prioriterede vandtyper. I forlængelse af første og anden del omhandlede tredje del af workshoppen behovet for udvikling af nye renseløsninger.

5.1 Del 1: Identifikation og prioritering af vandtyper

Ved første del af workshoppen blev deltagerne inddelt efter arbejdsområde, hhv. forsyninger, myndigheder, rådgivere, teknologileverandører og virksomheder. Forsyningerne blev bedt om at prioritere og begrunde valget af de fem vandtyper med størst relevans, og som de anså for

at være den største udfordring i forhold til forurening af vandmiljøet med tungmetaller, se TABEL 5. De øvrige grupper blev bedt om at uddybe deres mening om de angivne problematiske vandtyper.

Resultatet blev en prioritering af vandtyper i forhold til belastningsgrad ved udledning til vandmiljøet, som det fremgår af TABEL 5. Spildevand udledt fra renseanlæg er prioriteret som den vigtigste vandtype, da spildevand udgør den største mængde vand, der udledes til vandområder og samtidig har relativt høje koncentrationer af tungmetaller. Spildevand fra renseanlæg blev efterfulgt af overfladevand fra befæstede arealer, idet det drejer sig om store mængder vand, som skal udledes til sårbare recipienter. Spildevand fra industri blev prioriteret som nummer 3, idet dette er en vandtype, der stedvis indeholder høje koncentrationer af tungmetaller, og da en kommende skærpelse af rensekrav kan stille teknologiske krav, som der i dag ikke findes en holdbar løsning på. Perkolat fra deponier samt afværgvand fra oprensning af jord- og grundvandsforurening blev prioriteret som nummer 4, fordi de to typer kan have en kompleks sammensætning og bidrager med en høj tilførsel af tungmetaller til renseanlæg. Grundvand/drikkevand blev prioriteret som nummer 5 på grund af den forekomst af metaller, der også kan findes her.

TABEL 5. Prioritering af vandtyper på baggrund af input fra workshopdeltagere.

Prioritering	Vandtype
1	Spildevand fra forsyningsselskabernes renseanlæg
2	Almindeligt belastet overfladevand (fx vejvand o.a. vand fra helt eller delvist befæstede arealer, tagrender mv.)
3	Spildevand (fra industri, hospitaler, vaskehaller, forbrændingsanlæg mv.)
4	Perkolat fra deponier
5	Grundvand/drikkevand

De resterende grupper blev instrueret i at give input til de fem udvalgte vandtyper i forhold til opmærksomhedspunkter, når man arbejder med håndtering af tungmetaller i netop denne vandfraktion (TABEL 6).

TABEL 6. Input til opmærksomhedspunkter for de fem prioriterede vandtyper mht. tungmetaller.

Underoverskrift	Prioritering	Begrundelse	Teknologileverandør	Virksomheder/forsyninger?	Miljøstyrelsen/kommuner	Rådgivere
Spildevand fra forsyningsselskabernes renseanlæg (herunder udledning af urensset spildevand fra overløb)	1	Største mængde, relativt høje koncentrationer i urensset vand	Især vigtigt med et samtidigt fokus på spildevandsslam	Uacceptabelt høje koncentrationer, hvilket umuliggør en udledningstilladelse, mangler retningslinjer for udledningstilladelser til overløb	Kommunikation mellem forsyning/kommune og virksomheder kan være problematisk, proportionalitet i tilladelser i forhold til diffuse kilder	Kommunikation mellem forsyning/kommune og virksomheder kan være problematisk, proportionalitet i tilladelser i forhold til diffuse kilder

Underoverskrift	Prioritering	Begrundelse	Teknologileverandør	Virksomheder/ forsyninger?	Miljøstyrelsen/ kommuner	Rådgivere
Almindeligt, belastet overfladevand (vejvand, tagrender mv.)	2	Stor mængde, sårbar recipient	Uklarhed om BAT (nuværende anses ikke for god nok), uklare grænseværdier, mangler definition af punktkilder og diffuse kilder	Skærpselser stiller teknologikrav, der ikke nødvendigvis er løsninger på, mangler bedre overvågning	Uacceptabelt høje koncentrationer, hvilket umuliggør tildeling af udledningstilladelse. Det er en kilde til potentiel stor forurening, som vi mangler hjemmel til at regulere	Zink i tagrender mv, Vaskehaller (tungmetaller)
Spildevand fra industri (hospitaller, vaskehaller, forbrændingsanlæg mv.)	3	Forholdsvis høje koncentrationer, afhænger af kilde	Vanskeligt at gennemskue, hvilke krav der stilles i en tilslutningstilladelse, da det bl.a. afhænger af modtagerrenseanlægget	Vand fra industri tilledes til centralrenseanlæg med koncentrationer af tungmetaller over udlederkravet, så renseanlægget i stedet står med problemet. Skærpselser stiller også krav til rensning, der ikke nødvendigvis kan opnås med nuværende teknologier	Brug af rensset sekundært vand, bliver mere udbredt (fx til Power-to-X, køling). Der mangler retningslinjer på området	Skisma mellem mængde og koncentration
Perkolat fra depotier	4	Kompleks sammensætning	Ingen overvågning eller rensning, ukendt udledning	Høj tilførsel af MFS til renseanlæg		
Drikkevand/grundvand	5	Øget koncentration af forurenende stoffer i grundvandet		Naturligt høje niveauer af metaller	Fortidens synder, fx kviksølv, ligger i balance med vandmiljøet	Fortidens synder, fx kviksølv, ligger i balance med vandmiljøet

På baggrund af ovenstående input blev det besluttet, at teknologikataloget skulle tage udgangspunkt i vandtypen 'spildevand fra renseanlæg', der blev berørt i forhold til tungmetaller og det 4. renses trin, samt i vandtypen, der dækker over industrielt spildevand, dvs. 'Spildevand (industri, hospitaler, vaskehaller, forbrændingsanlæg mv.)', der blev berørt i forhold til tungmetaller.

5.2 Del 2: Nuværende teknologier til tungmetallrensning

De enkelte grupper blev efterfølgende bedt om at identificere eksisterende renseløsninger til tungmetallforurening. Der blev udpeget en lang række teknologier, som efterfølgende er inddelt i seks kategorier. Fra hver kategori er udvalgt tre teknologier, som er opsummeret i nedenstående TABEL 7.

TABEL 7. Oversigt over eksisterende teknologier til tungmetalfjernelse fra vand.

Kompleksitet/omkostning	Kategorier	Identificerede teknologier		
	Forskellige simple teknologier	Mekanisk bundfældning og filtrering (sedimentation, sand)	Flotationsanlæg	Biosorption
	Forskellige simple teknologier i det åbne land	Nature Based Solutions	Filtrering i træflis	Phyto Remediering
	Teknologier til overfladevand	Filtermuld - nedsivning af regnvand/lokal afledning af regnvand	Bassiner	Mineralsk filtermedie
	Adsorptionsteknologier	Aktivt kul-filter	Ionbytning og adsorption	Selektiv adsorption
	Membranteknologier	Membranfiltrering - omvendt osmose og nano-filtrering eller mikro- og ultrafiltrering	Fældning + membranfiltrering	Membrane Bioreactor
	Forskellige avancerede teknologier	Inddampning/destillation/fordampning	Elektrodialyse	Elektroplating

5.3 Del 3: Kortlægning af teknologibehov til forbedret tungmetalfjernelse

Workshoppens tredje del havde til formål at identificere teknologier, som har potentiale til implementering i forbindelse med tungmetalrensning i fremtiden. De identificerede teknologier er uddybet i forhold til deres potentialer og i forhold til, hvilke investeringer/tiltag der kræves for at forløse potentialet. På baggrund af dette er teknologierne blevet inddelt i seks kategorier i forhold til, hvilken type tiltag der kræves for at begynde at anvende teknologien (TABEL 8).

TABEL 8. Oversigt over, hvad der mangler, for at teknologien kan blive implementeret.

Kategori (hvad mangler teknologien?)	Antal teknologier identificeret
Fortolkning/håndtering af lovgivning	11
Teknologisk udvikling	10
Opskalering af teknologien	4
Tilpasning til nyt område	2
Teknologi findes, men udnyttes ikke i Danmark	2
Bedre samarbejde	1

De to områder/barrierer, der af deltagerne blev identificeret som de vigtigste i forhold til implementering af ny teknologi til tungmetalfjernelse, var hhv. lovgivning og decideret teknologisk udvikling. Hvad angår lovgivning blev det fremhævet, at der med de gældende regler skal foretages en individuel vurdering af kommuner ved tilslutning til kloak, for at forsyningsselskabernes renseanlæg fortsat kan overholde deres udledningstilladelser. Den individuelle vurdering betyder, at bl.a. tilslutningstilladelserne er forskellige fra kommune til kommune og fra renseanlæg til renseanlæg. Hvis der i stedet gjaldt samme regler for alle anlæg, ville det være lettere at udvikle en overordnet teknologi, som i visse tilfælde kunne give for lave koncentrationer og dermed være dyrere end nødvendigt. I øjeblikket skal der udvikles teknologier, der er skræddersyet til hvert enkelt anlæg. Reglerne kunne samtidig gøres klare. Med klare regler ville administrationen kunne lettes for f.eks. kommuner, hvorved sagsbehandlingstiden kunne

nedbringes. Netop en kortere sagsbehandlingstid efterspørges af mange virksomheder. Derudover er der fortsat mulighed for en øget præventiv indsats for at dæmme op for udledningen af tungmetaller, bl.a. ved at virksomheder erstatter brug af tungmetaller med andre, mindre forurenede alternativer.

Når det kommer til teknologiudvikling, blev det pointeret, at der bør tænkes længere frem end til 4. rensetrin. Der bør prioriteres fleksible løsninger, der nemmere kan tilpasses evt. kommende nye krav til et 5. eller 6. rensetrin, som kan opfylde krav til rensning for en række i dag ukendte forureningsstoffer. Der er også ønske om et øget fokus på udvikling af billigere teknologier og af teknologier, der ikke alene fjerner tungmetaller, men gør det muligt at udvinde og genanvende dem.

5.4 Estimeret TRL-niveau af nye renseteknologier

I forbindelse med tungmetalworkshoppen blev TRL-niveauer (Technology Readiness Level) estimeret for de i del tre identificerede teknologier (TABEL 9). I tabellen er teknologierne oplistet med tilhørende TRL-niveauer og inddelt efter, hvad teknologien mangler for at kunne realiseres. Dette tæller bl.a. teknologier med behov for opskalering, optimeret styring og muligheder for teknologioverførsel fra andre industrier. Et eksempel er teknologier fra mineindustrien til udvinding af metaller, der måske vil kunne anvendes indenfor andre områder, herunder på deponier, hvor der i dag sker en væsentlig udledning af metaller, men hvor man ikke arbejder med udvinding. Her vil teknologier fra eksempelvis mineindustrien kunne give mulighed for vandrensning og en efterfølgende udvinding og oparbejdning. Dog vil TRL-niveauet for en sådan applikation være væsentligt lavere end ved den oprindelige anvendelse.

TABEL 9. Overblik over deltagernes identifikation af teknologiske mangler og det efterfølgende estimerede TRL-niveau for renseteknologierne i forhold til tungmetaller. TRL-niveauet er vurderet med et afsæt i selve teknologien og det angivne anvendelsesområde.

Kategorier (hvad mangler teknologien?)	Renseteknologier (anslået TRL-niveau)					
Teknologisk udvikling	Bedre specifikke sorbenter (5-6)	Forøgelse af adsorptionskapacitet og reduktion i pris, herunder billigere alternative teknologier (n.a.)	Selektiv udvinding af metaller, f.eks. magnetisk (2-4)	Elektroplating til udvinding af metaller (3-4)	Nanopartikler og andre coatingmaterialer (3-4)	Muslinge- og østersfiltre (2-4)
Opskalering af teknologien	Mineralsk filtermedie (6-7)	Indretning/funktion af regnvandsbassiner (6-7)	Smart-styring af pumpe/rørsystemer for øget kapacitet (n.a.)			
Tilpasning til nyt område	Waste Mining af spildevandsstrømme for tungmetaller (2-3)					

Kategorier (hvad mangler teknologien?)	Renseteknologier (anslået TRL-niveau)	
Teknologi findes, men udnyttes ikke i Danmark	Filtrering, herunder (mikro, ultra og omvendt osmose) (9)	Lokal rensning i samlebrønde/gennemløbsbrønde, fx for zink (9)

En oplagt mulighed for finansiering af de identificerede behov for teknologiudvikling er Miljøstyrelsens Udviklings- og Demonstrationsprogram, MUDP jf. programmets strategi og handlingsplaner.

5.5 Delkonklusion workshop 1 om tungmetaller

Workshoppen om tungmetaller gav indsigt i de nuværende udfordringer og fremtidige behov for teknologiudvikling inden for håndtering af tungmetalforurening i vandmiljøet. Spildevand blev identificeret som den mest belastende vandtype i forhold til tungmetalforurening, efterfulgt af almindeligt, belastet overfladevand og dernæst industrielt spildevand. Denne prioritering afspejler både mængden af vand og koncentrationen af tungmetaller i de forskellige vandtyper. Workshoppen afdækkede en bred vifte af eksisterende renseteknologier, rangerende fra simple, mekaniske metoder til avancerede membran- og adsorptionsteknologier. Der findes således allerede mange løsninger, men der er behov for yderligere optimering og udvikling, også i forhold til drift og pris.

To hovedområder blev fremhævet som afgørende for implementering af nye teknologier: lovgivning og myndighedstilladelser/regulering samt teknologisk udvikling. Deltagere på workshoppen fremhævede et behov for ensartning mht. godkendelser/regulering og klare regler og administrationspraksis på tværs af kommuner og virksomheder for at lette udviklingen og implementeringen af nye teknologier. Samtidig er der behov for mere fleksible og fremtidssikrede løsninger, der kan tilpasses fremtidige rensetrin og krav med fokus på udvikling af billigere teknologier og metoder til genvinding af tungmetaller. De identificerede fremtidige teknologier spænder over et bredt spektrum af TRL-niveauer, fra grundforskning til næsten markedsmodne løsninger, hvilket indikerer, at der er behov for både langsigtet forskning og mere kort-sigtet udvikling og opskalering.

Workshoppen understregede vigtigheden af samarbejde mellem forskellige aktører i branchen, herunder forsyninger, myndigheder, teknologileverandører og forskningsinstitutioner, for at adressere udfordringerne effektivt. Samlet set peger resultaterne fra workshoppen på et betydeligt potentiale for innovation inden for tungmetalrensning, men også på behovet for en koordineret indsats på tværs af myndighedsgodkendelser/regulering, teknologiudvikling og implementering for at realisere dette potentiale fuldt ud.

6. Workshop 2: Det 4. rensetrin

Der var to formål med den første session på workshoppen om det 4. rensetrin, der skal implementeres på forsyningsselskabernes renselanlæg: 1) at diskutere udfordringer og behov relateret til implementering af 4. rensetrins-teknologier ved forsyninger ift. lovgivning og 2) gennem teknologileverandørernes indsigt at identificere yderligere udviklingsbehov for teknologier til 4. rensetrin.

Den anden session omhandlede også slamdestruktion, nødvendigheden heraf, status på teknologiernes formåen ift. MFS (i særdeleshed PFAS), samt identificering af yderligere udviklingsbehov.

Workshopprogrammet var sammensat som følger:

- Opdatering på byspildevandsdirektivet ved Miljø- og Ligestillingsministeriet.
- Danske teknologileverandører (Krüger, Suez og ULTRAAQUA) med de mest modne teknologikoncepter til 4. rensetrin.
- Præsentation af udenlandske erfaringer med fjernelse af miljøfarlige, forurenede stoffer med 4. rensetrin ved Envidan.
- Belysning af udfordringer med slamfraktioner ift. miljøfarlige, forurenende stoffer præsenteret af DANVA og Teknologisk Institut.

Workshoppens deltagere, der var inviteret gennem bl.a. netværk og via LinkedIn, repræsenterede følgende grupper:

- **Forsyninger:** 11 forsyninger, herunder Arwos, Skanderborg Forsyning, Samn Forsyning, Hjørring Vandselskab, Kalundborg Forsyning, Vandcenter Syd, Aarhus Vand, Lejre Forsyning, Billund Vand, Frederikshavn Forsyning og Silkeborg Forsyning.
- **Brancheforeninger og lovgivere:** medarbejdere fra Danva, Dansk Miljøteknologi, DI Vand, kommuner, Miljøstyrelsen og Miljø- og Ligestillingsministeriets departement.
- **Undervisning:** Ferskvandscenteret.
- **Teknologileverandører:** 2 grupper med deltagere fra Krüger, Techras, CWT Nordic, ULTRAAQUA og Suez.
- **Vidensinstitutioner og rådgivere:** COWI, NIRAS, Rambøll, Envidan, Aarhus Universitet og Teknologisk Institut.

Workshoppen samlede således en bred vifte af interesser fra forskellige sektorer og perspektiver relateret til 4. rensetrin og til slambehandling.

6.1 Præsentation af nuværende teknologier

Som en indledning til workshoppen var en række teknologileverandører inviteret til at præsentere deres bud på en renseløsning, der kan leve op til kravene for et 4. rensetrin. Som oplyst herunder er det primært ozonering og brug af aktivt kul, der for nuværende er i spil (TABEL 12).

Ozonering er en proces, hvor ozon (O_3) anvendes til at nedbryde og oxidere organiske forbindelser. Ozon er en meget reaktiv form for ilt, som effektivt kan nedbryde mange miljøfarlige stoffer såsom lægemidler, aromatiske kulbrinter, phenoler, pesticider og klorholdige opløsningsmidler.

Aktivt kul er en meget porøs form for kulstof med et uforholdsmæssigt stort overfladeareal og anvendes som granulat eller pulver (GAC/PAC). Det bruges til at adsorbere (binde) forurenende stoffer fra luft eller vand. De forurenende molekyler bindes til overfladen af det aktive kul via svage intermolekylære kræfter. Aktivt kul er effektivt til at fjerne mange forskellige typer af forurenende stoffer, bl.a. lægemidler og pesticider. Efter brug kan det aktive kul enten regenereres (ved opvarmning), destrueres eller deponeres. Aktivt kul er ofte kendetegnet ved et stort klimaaftryk, da det i stort omfang importeres.

TABEL 10. Oversigt over teknologileverandørernes præsenterede teknologier til et 4. renses-trin.

Teknologier	Beskrivelse
Aktivt kul-filtrering med GAC	Denne løsning anvender granuleret aktivt kul (GAC) til at adsorbere MFS fra spildevandet. Det er en effektiv metode, som dog kan være dyr i drift pga. behovet for regelmæssig udskiftning af det brugte kul.
Ozonering	Ozon (O_3) tilsættes spildevandet for at oxidere og nedbryde MFS. Ozon er meget reaktivt og effektivt overfor en lang række stoffer, men nogle stoffer såsom PFAS nedbrydes ikke.
Ozonering + filtrering	Ozonering + sandfilter: Ozoneringen nedbryder en række MFS, og sandfilteret fjerner MFS, der er bundet til partikler.
	Ozonering + GAC-filtrering: Delvis ozonering efterfulgt af adsorption på aktivt kul-filter. Mere effektiv fjernelse af svært nedbrydelige stoffer såsom PFAS og tungmetaller, men dyrere drift pga. kulskift.
Ozonering + biologisk behandling	Ozoneringen nedbryder forureningen, og derefter fjernes restprodukterne biologisk. Der findes p.t. kun en kommercielt tilgængelig løsning, nemlig en MBBR-baseret (Moving Bed Biofilm Reactor) teknologi ved navn eXenO3™, hvor en biofilm på plastikmedier nedbryder de tilbageværende stoffer.

Teknologileverandørerne blev ligeledes bedt om at byde ind med priser på den angivne behandling, hvilket er opsummeret i nedenstående afsnit.

Krüger

Krüger præsenterede virksomhedens teknologier til 4. renses-trin, og alle løsninger vurderes at kunne opfylde det forventede fjernelseskraav på 80 % for udvalgte miljøfarlige, forurenende stoffer, som er kravet i byspildevandsdirektivet.

Driftsomkostninger (OPEX) for de forskellige teknologier estimeres nedenfor, og antagelser ift. fx energipriser er angivet i TABEL 11.

TABEL 11. Overblik over estimerede driftsomkostninger for udvalgte renseteknologier til 4. renses-trin fra Krüger/Veolia. DOC: dissolved organic carbon.

Teknologikoncept	OPEX-estimer
Ozonering + sandfilter	OPEX 2,2-2,7 cent €/m ³ ved specifik ozondosis på 0,4-0,6 g O ₃ /g DOC* OPEX 3,4-4,1cent €/m ³ , ved specifik ozondosis på 0,4-0,6 g O ₃ /g DOC**
Ozonering + GAC-filtrering	OPEX 3,8 cent €/m ³ ved ozondosis 0,2 g O ₃ /g DOC + 10 g GAC/m ³ *** OPEX 4,5 cent €/m ³ ved ozondosis 0,1 g O ₃ /g DOC + 14 g GAC/m ³ ***

Teknologikoncept	OPEX-estimer
Ozonering + eXenO3™#	OPEX 1,7-2,1 cent €/m ³ ved specifik ozondosis på 0,4-0,6 g O ₃ /g DOC* OPEX 2,8-3,6 cent €/m ³ ved specifik ozondosis på 0,4-0,6 g O ₃ /g DOC**
* Beregnet ud fra en energipris på 0,10 EUR/kWh	
** Ved energipris på 0,25 EUR/kWh er OPEX 3,4-4,1 cent €/m ³	
*** Beregnet ud fra energipris på 0,10 EUR/kWh og GAC-pris på 1950 EUR/ton.	
# eXenO3™ er patenteret af Krüger/Veolia.	

Der angives ingen generelle anlægsomkostninger, da det fremhæves, at CAPEX er afhængig af fx jordbundsforhold. Baseret på et konkret eksempel for Egå Renseanlæg, angives CAPEX for et ozonanlæg uden bygværker og dimensioneret til 1.800 m³/t at koste ca. 16 mio. DKK. Hertil kommer evt. ændringer på udløb, etablering af kontakttanke samt lagertank til LOx (Liquid Oxygen System).

SUEZ

SUEZ præsenterede virksomhedens teknologier til 4. rensetrin, og alle løsninger vurderes at kunne opfylde det forventede fjernelseskraav på 80 % for udvalgte miljøfarlige, forurenende stoffer, som er kravet i byspildevandsdirektivet. Her anvendes to hovedteknologier, nemlig ozonering og adsorption på aktivt kul, og nedenstående teknologikoncepter er patenteret af SUEZ, se TABEL 12.

TABEL 12. Oversigt over SUEZ' teknologier til et 4. rensetrin.

Teknologier	Beskrivelse
Integreret ozonering (OxyBlue™ BioO ₃)	Ozon tilsættes direkte i biologiske reaktortanke for at optimere nedbrydningen af MFS.
Integreret pulveraktivt kul (BioPACTM)	Pulveraktivt kul tilsættes i de biologiske reaktortanke for at adsorbere miljøfremmede stoffer.
Ozonering + granuleret aktivt kul-filter (CarbaBlue™ Up)	En opstrøms ozonering efterfulgt af et specialdesignet opstrøms GAC-filter med kontinuerlig tilførsel af friskt kul.

Der opgives ikke driftsomkostninger af de enkelte teknologikoncepter, men derimod et bud på etableringsomkostninger for et 100.000 PE-anlæg med ozonering + GAC-filter. Investeringsomkostningerne vil typisk ligge i intervallet 70-100 millioner DKK plus udgifter for forsyning til ilt og aktivt kul. Der gives ikke detaljerede driftsomkostninger, men det understreges, at de eksisterende renseprocesser og kravene til rensning har stor indflydelse på de samlede omkostninger.

ULTRAAQUA

ULTRAAQUA præsenterede virksomhedens teknologier til 4. rensetrin. Oplægget var baseret på erfaringer fra et pilotanlæg på Slagelse Renseanlæg, hvor forskellige teknologier til 4. rensetrin er blevet testet i storskala. De undersøgte teknologier er beskrevet i TABEL 13.

TABEL 13. Oversigt over ULTRAAQUAs erfaring fra pilotskalatest ved Slagelse Renseanlæg og estimerede driftsomkostninger (OPEX) inkl. energiforbrug.

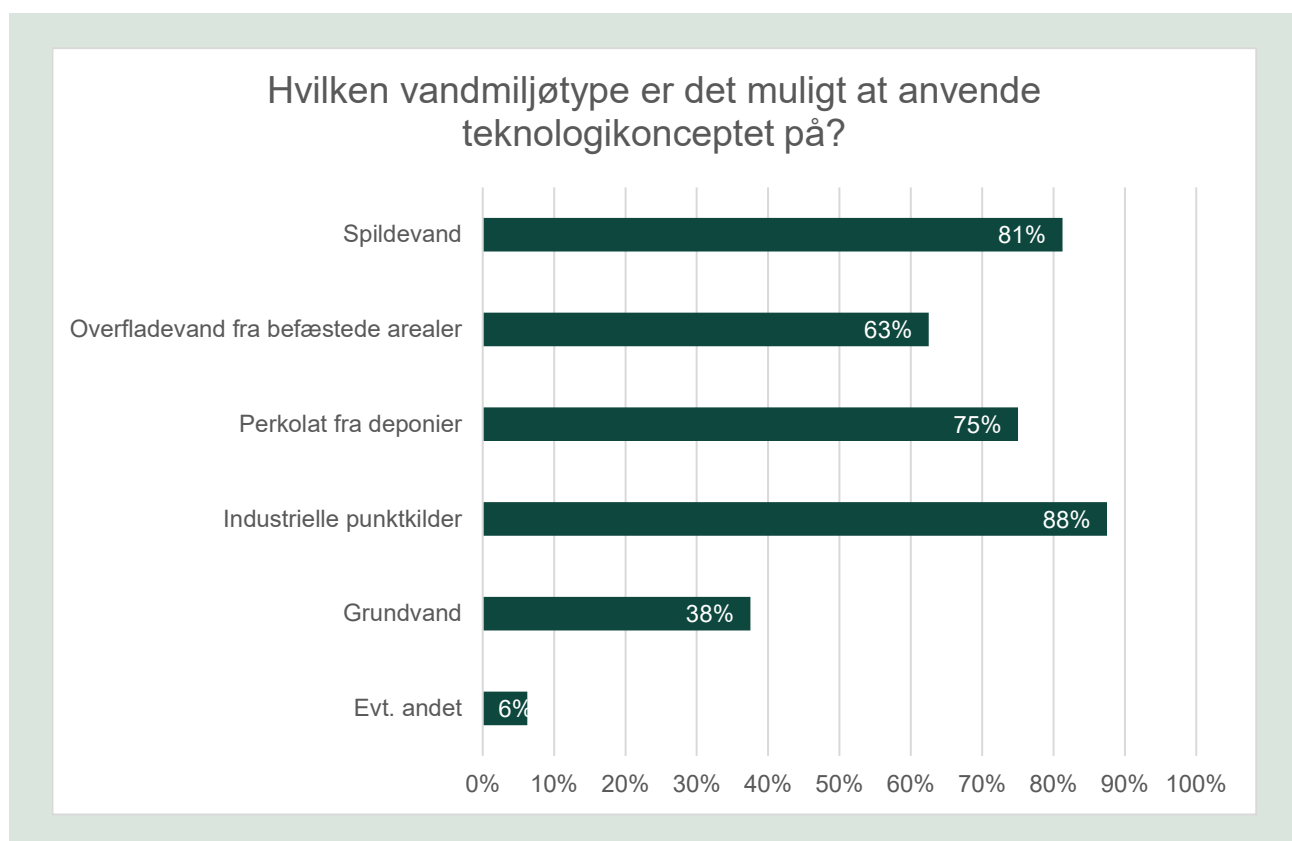
Teknologikoncept	OPEX-estimer
Aktivt kul	ca. 2,5 kr./m ³ for aktivt kul ca. 0,5 kr./m ³ for gammelt reaktiveret kul
Lav ozondosis (dosis ikke opgivet)	Energiforbruget 0,8 kWh/m ³ inkl. iltproduktion
kombineret med gammelt aktivt kul og UV	Energiforbruget for ozonering er ca. 0,4 kWh/m ³ eks. iltproduktion

Teknologikoncept	OPEX-estimer
Vakuum-UV	Energiforbrug på 1,5 kWh/m ³
Placeret efter gammelt kul	(forventet optimeret til 0,9 kWh/m ³)

Der er ikke opgivet forventede priser på aktivt kul eller reaktiveret aktivt kul, ej heller priser på energi. Energiforbruget for en ny ULTRAAQUA ozongenerator (til 30 m³/t), er ca. 0,05 kWh/m³.

De præsenterede teknologier fra de deltagende teknologileverandører blev suppleret med en rundspørge blandt en lang række danske teknologileverandører inden for spildevandsbehandling. Spørgeskemaet blev udsendt til i alt 35 teknologileverandører, og i alt har 16 leverandører svaret på spørgsmål relateret til teknologikoncepter til fjernelse af miljøfarlige, forurenende stoffer (MFS) fra vandige spildstrømme. Deraf har SUEZ, CWT og Kilian Water budt ind med priser på konkrete teknologikoncepter.

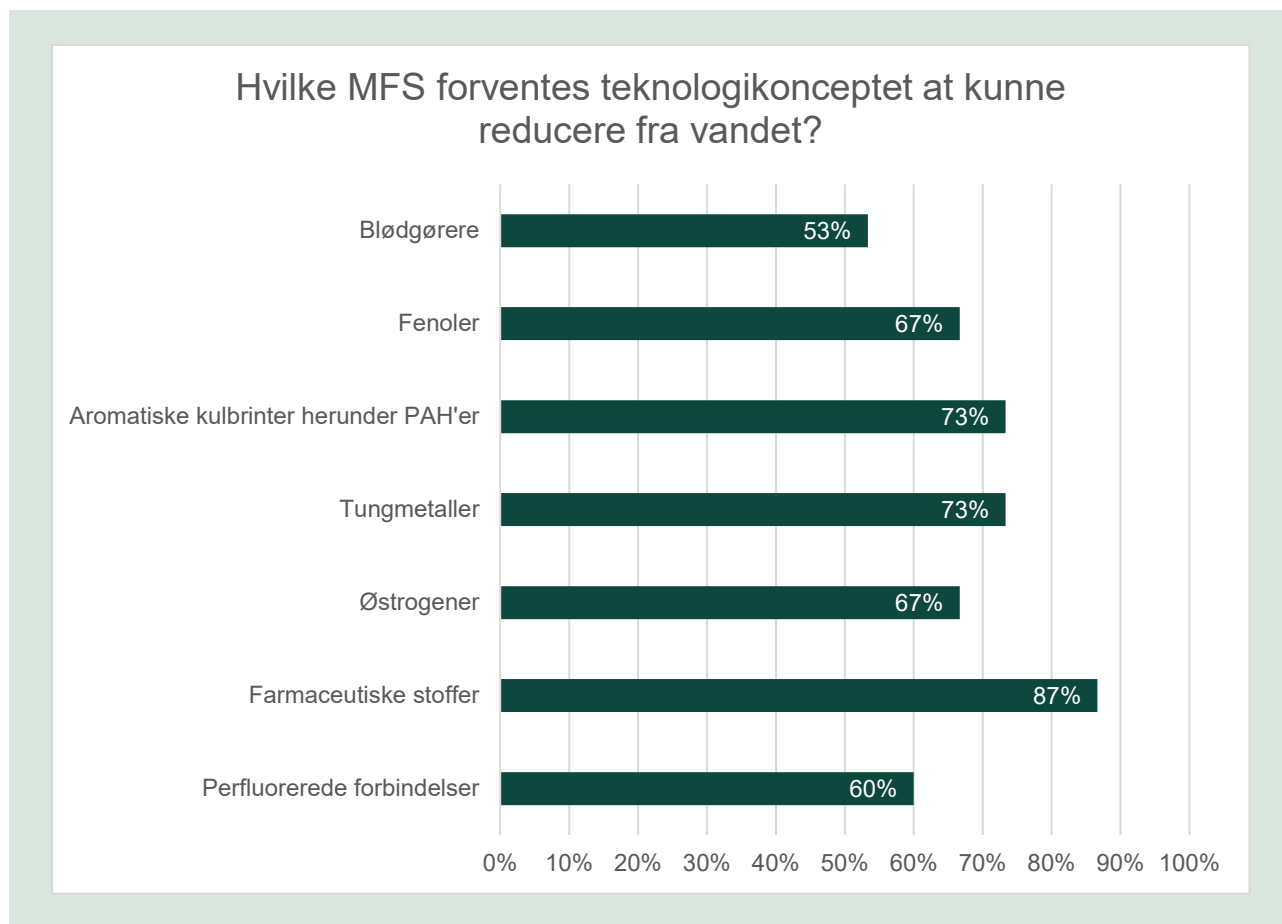
Deltagerne blev stillet en række spørgsmål om den teknologi, de kan levere til at fjerne MFS fra vandige strømme, bl.a. med hensyn til effektivitet og økonomi.



FIGUR 2. Andelen af respondenter, der har svaret, at deres teknologikoncept kan behandle den angivne vandtype mht. fjernelse af MFS. Procentsatserne er baseret på 16 respondenter. Hver respondent har haft mulighed for at vælge flere vandtyper.

Det er tydeligt, at fokus for teknologileverandørerne har været spildevand, industrielle punktkilder og perkolat, og i mindre grad almindeligt, belastet overfladevand og grundvand, se FIGUR

2. Dette reflekterer den generelle udfordring med MFS, der findes i højere koncentrationer i industrielle punktkilder, perkolat og spildevand end i overfladevand og grundvand. Teknologileverandørerne har altså fokuseret kræfterne der, hvor problemet er størst, i forhold til udbud af teknologi.



FIGUR 3. Andelen af respondenter, der har angivet, at deres teknologikoncept kan reducere det givne stof fra den vandtype, der behandles. Procentsatserne er baseret på 15 respondenter. Hver respondent har haft mulighed for at vælge flere stofgrupper.

Der er flest teknologier til rådighed til at håndtere farmaceutiske stoffer, herunder antibiotika (FIGUR 3), hvilket stemmer overens med, at disse stoffer har været i fokus længe, og også er det primære fokus i det nye byspildevandsdirektiv, hvor effekten af det krævede 4. renses trin skal dokumenteres ved 80 % reduktion af udvalgte farmaceutiske stoffer. Perfluorerede forbindelser (PFAS) og blødgørere er de stoffer, som færrest teknologikoncepter kan håndtere. PFAS er sværere at fjerne end eksempelvis farmaceutiske stoffer, og blødgørere har ikke haft lige så stort et fokus som en række af de øvrige MFS.

TABEL 14. Overblik over teknologileverandørers besvarelser fra spørgeskemaet og præsentationer på workshops. OPEX inkluderer estimeret vedligehold, råmaterialeforbrug (kemikalier, aktivt kul etc.) samt strømforbrug. CAPEX inkluderer alene prisen på udstyret, ikke tilslutning,

bygninger m.m., og er opgivet som en behandlingspris pr. m³ behandlet i anlæggets estimerede levetid.

Teknologi	Vandmængde (m ³ /år)	CAPEX (DKK/m ³)	OPEX (DKK/m ³)
Ozonering	6.000.000	0,44	0,29
Aktivt kul	6.000.000	0,44	0,45
Gas-energy-mixing	180.000	0,06	0,28
Beplantet filteranlæg	3.650	6,85	4,36
Aktivt kul	262.000	Lokalitetsbestemt	2,50
Ozonering + sandfilter	>3.832.500*	Lokalitetsbestemt	0,16-0,31
Ozonering + GAC	>3.832.500*	Lokalitetsbestemt	0,28-0,34
Ozonering + MBBR	>3.832.500*	Lokalitetsbestemt	0,13-0,27

*tilsvarende >100.000 PE

De teknologier, der er præsenteret, spænder over en bredde fra beplantet filteranlæg til kul og ozonering, der etableres i forbindelse med eksisterende spildevandsanlæg. Nedbrydning af farmaceutiske stoffer med ozon og bortfiltrering med kul er de fremherskende teknologier til 4. rensetrin ved kommunale renseanlæg. Behandlingsprisen pr. m³ vand afhænger i høj grad af lokation og de rensegrader, man ønsker at opnå for udvalgte MFS, og af størrelsen på det etablerede anlæg (TABEL 14).

Erfaringer fra udlandet

Nedenstående afsnit er en opsummering af Jacob Krag (Envidan) oplæg fra workshoppen. Referencer på de pågældende studier findes i oplægget på Teknologisk Instituts hjemmeside, som kan tilgås [her](#).

Schweiz har været foregangsland inden for implementering af det fjerde rensetrin, med krav om over 80 % reduktion af 12 indikatorstoffer indført i 2014. I marts 2023 var der 19 anlæg i drift og yderligere 47 projekter under udvikling. Teknologierne anvendt i Schweiz omfatter primært ozonering og aktivt kul (GAC/PAC) med estimerede omkostninger på cirka 70 kr. per person pr. år frem til 2034.

I Tyskland er der en frivillig indsats i delstaterne Baden-Württemberg og Nordrhein-Westfalen. I oktober 2023 havde Baden-Württemberg 29 renseanlæg med 4. rensetrin og 28 projekter under udvikling, fortrinsvis ved brug af aktivt kul. I Nordrhein-Westfalen var der 30 renseanlæg med tilsvarende teknologier.

Nederlandene har gennemført et femårigt innovationsprogram (2019-2023) med en bevilling på 12 millioner euro til forbedring og udvikling af teknologier til fjernelse af lægemiddelstoffer. Programmet vurderede teknologierne ud fra effektivitet, reduktion af økotoxicitet, omkostninger og CO₂-aftryk. Resultaterne viste, at en kombination af teknologier kan give en bredere reduktionsprofil, lavere driftsomkostninger og større miljømæssig bæredygtighed.

I Sverige er der endnu ingen regulering af MFS i udløb fra renseanlæg, men flere forsyninger mødes med krav om regulering ved nybyggeri eller udbygning. Den svenske miljøstyrelse har siden 2018 finansieret 60 forstudieprojekter og 10 implementeringsprojekter, der omfatter teknologier som ozonering, aktivt kul, membraner, UV og avanceret oxidation (AOP). Disse projekter har i højere grad karakter af udviklingsprojekter.

Mens Schweiz og Tyskland således har taget føringen med implementering af 4. rensetrin, ses der i Nederlandene og Sverige en betydelig innovationsaktivitet, som fokuserer på udvikling og

optimering af renseteknologier. Det understreger behovet for, at vi i Danmark samarbejder med andre lande, for fortsat at være med forrest i teknologiudviklingen inden for vandteknologi. Det viser samtidig, hvordan lovgivning med ambitiøse krav til reduktion af MFS kan være med til at drive udvikling og implementering af ny teknologi.

6.2 Del 1: Udviklingsbehov og barrierer for implementering af det 4. rensetrin

Ved første session af workshoppen blev deltagerne inddelt efter arbejdsområde: forsyninger og myndigheder sammen hhv. rådgivere og teknologileverandører sammen. Deltagerne fra hvert arbejdsområde blev inddelt i mindre undergrupper, og der blev arbejdet med en række spørgsmål. Spørgsmålene omhandlede barrierer for at implementere løsninger i drift, herunder organisatoriske barrierer hos eksempelvis forsyninger, samt opstilling af udfordringer, der ikke bliver løst med de tilgængelige teknologier, og hvilke behov der derfor er for udvikling på nuværende tidspunkt.

TABEL 15. Antal respondentinput inden for hver af syv kategorier, når der spørges til barrierer for implementering af 4. rensetrin. Svarene baserer sig på input fra fire arbejdsområder, hhv. forsyninger, myndigheder, rådgivere og teknologileverandører.

Kategori (hvad er der behov for ift. 4. rensetrin?)	Antal svar indenfor kategorien
Viden	38
Teknologi	30
Krav/lovgivning	26
Økonomi	17
Miljø	3
Overblik	3
Tid	1

Som det også blev identificeret i første workshop om tungmetaller, står klare krav, lovgivning og administrationspraksis samt teknologiudvikling højt på listen over barrierer for implementering af 4. rensetrin ved landets forsyninger. Med klare krav menes der ensretning i forvaltningen af eksisterende lovgivning på tværs af kommuner og virksomheder, så udledere og teknologileverandører nemt kan skabe sig et overblik over mål/krav, hvad angår implementering af renseteknologi. Klare krav og god administrationspraksis sikrer, at man som udleder er ligestillet med andre lignende virksomheder, og at forvaltningen derfor ikke bliver konkurrenceforvridende. Dette punkt inkluderer også en hurtigere behandling af anmodning om tilslutnings- og udledningstilladelser.

I lige så høj grad mangler der viden, ikke kun om rensegrader og drift af en lang række teknologier, men også internt ved forsyningerne i forhold til at træffe de rette beslutninger, når det gælder, hvilke tiltag der skal sættes på. Økonomi er også en væsentlig barriere, da implementering af teknologi til 4. rensetrin udgør en stor omkostning for den enkelte forsyning. Der er også i mindre grad barrierer, der relaterer sig til klima - eksempelvis, at implementeringen af et 4. rensetrin kan modarbejde forsyningernes egne mål om energineutralitet, da de nuværende teknologier til 4. rensetrin både er energi- og ressourceintensive – dilemmaer skal håndteres.

På baggrund af deltagerinput er der identificeret en række udviklingsbehov og opmærksomhedspunkter, når fremtidens teknologi til 4. rensetrin skal udvikles. Generelt skal håndtering af slam, forbrug af ressourcer og klimabelastning indtænkes, allerede i designfasen. Dette kan være i form af en samlet livscyklusanalyse (LCA) for teknologikonceptet, både ift. produktion af teknologien og under selve driften, hvor der bruges energi og genereres reststrømme. Fokus skal også være på modulære og fleksible løsninger, der bedre kan tilpasses skærpede krav til

nuværende eller nye stoffer. På denne måde mindsker man det ressourcespild, der kan være ved gentagne gange at udskifte funktionel teknologi, da man i stedet for helt ny teknologi tilpasser og optimerer det eksisterende til den nye virkelighed. Det vil også være gavnligt med bedre sensorer og analyser, der mere effektivt vil kunne monitorere rensegrader og gøre opmærksom på periodiske overskridelser, og således være til hjælp i driften.

6.3 Del 2: Håndtering af MFS-koncentreret slam og teknologiske udviklingsbehov

Anden session af workshoppen indledtes med en række oplæg, der forholdt sig til håndtering af restfraktioner fra teknologier til det 4. rensetrin, herunder slam, kul og resiner med høje koncentrationer af miljøfarlige, forurenende stoffer. De teknologier, der blev præsenteret i første del, fjerner MFS fra spildevandet, men udfordringen består i at sikre, at disse stoffer i slammet destrueres eller deponeres korrekt.

Slam fra det 4. rensetrin forventes at indeholde høje koncentrationer af MFS, hvilket begrænser mulighederne for udbringning af slammet på landbrugsjord som gødning, hvilket i dag er udbredt praksis for almindeligt overskudsslam fra renseanlæg. Dette medfører øgede omkostninger til deponering eller forbrænding samt meromkostninger til transport og behandling. Derudover skal der tages højde for håndtering af andre restfraktioner såsom kul og resiner, der også vil være mættet med MFS.

For at kunne anvende slammet og genbruge adsorptionsmaterialer, skal MFS destrueres eller nedbrydes effektivt. Udvikling af teknologi til denne nedbrydning kan kombineres med regulering af produkter der indeholder MFS, herunder PFAS og tungmetaller, således at udledningen begrænses. Lovende teknologier til nedbrydning af MFS i slam inkluderer termisk behandling og kemisk oxidation.

Termisk behandling af slam indebærer en række teknologier, herunder monoforbrænding, pyrolyse, hydrothermal liquefaction (HTL) og gasificering. Disse teknologier anvender forskellige kombinationer af temperatur, tryk og ilt for at opnå en hel eller delvis nedbrydning af de miljøfarlige, forurenende stoffer.

Under workshoppen blev flere centrale behov og udfordringer i håndteringen af restprodukter fra spildevandsrensning identificeret af deltagerne. Et vigtigt punkt var forbedrede analysemetoder til at detektere og måle miljøfremmede stoffer mere præcist. Dette skyldes, at de nuværende detektionsgrænser ofte ligger tæt på de regulatoriske grænseværdier, hvilket skaber usikkerhed i vurderingen af slammets kvalitet og anvendelighed. Der var fokus på at finde en balance mellem flere mål: destruktion af MFS, genvinding af værdifulde næringsstoffer (især fosfor, kvælstof og kulstof) og opretholdelse af overordnet bæredygtighed i processerne, set i forhold til omkostningerne. For at opnå denne balance blev der efterlyst mere omfattende risikovurderinger og livscyklusanalyser som grundlag for beslutningstagning. Udvikling af fleksible og alsidige løsninger blev foreslået for at imødekomme fremtidige udfordringer og kommende regulatoriske krav. Endelig blev det påpeget, at et styrket samarbejde mellem forsyninger, myndigheder og industri er nødvendig for effektivt at håndtere de komplekse problemstillinger forbundet med slamhåndtering og genanvendelse af ressourcer.

6.4 Udviklingsbehov

Selvom teknologier til fjernelse af MFS fra en række vandtyper allerede eksisterer, mangler der implementering i fuldskala. Teknologier som avanceret oxidation (AOP), filtrering med aktivt kul og membranfiltrering har vist lovende resultater i forhold til 4. rensetrin, men teknologiernes integration i eksisterende renseanlæg kræver betydelige investeringer og teknisk tilpasning. Desuden er der behov for udvikling af mere bæredygtige og energieffektive teknologier til

både 4. rensetrin og til slambehandling, da mange af de nuværende løsninger er energikrævende. For at opnå energineutralitet, som også er et krav i byspildevandsdirektivet senest i 2045, er det nødvendigt at fokusere på teknologier, der kan minimere energiforbruget eller endda bidrage til energiproduktion. Nedenstående TABEL 16 opsummerer de identificerede udviklingsbehov fra workshoppen.

TABEL 16. Overblik over deltagernes identifikation af teknologiske mangler i forhold til 4. rensetrin og slamhåndtering.

Kategori	Udviklingsbehov
Teknologiudvikling	Nye teknologier til håndtering af den producerede slamfraktion
	Undersøgelse af erstatning for GAC (flotation, filtrering etc.), som også kan anvendes i kombination med GAC
	Mulighed for ombygning af teknologi, hvis krav ændres, så man er fleksibel
	Teknologier skal fremtidssikres til at rense for i dag ukendte MFS
	Teknologier, der renser tilstrækkeligt, men samtidig er ressourceeffektive
	Udvikling af biologiske løsninger frem for kun kemiske/mekaniske løsninger, da biologiske løsninger ofte kræver færre ressourcer
Anden udvikling/vidensindsamling	Dokumentation for renseeffektiviteten af forskellige teknologier
	Udvikling af bedre analysemetoder, herunder lavere detektionsgrænse og hurtige analyser (gerne online)
	Klare krav fra myndighederne (jf. afsnit 5.3), ligesom nævnt mht. tungmetaller.
	Klare krav vil gøre det mere sikkert at investere i specifik teknologi
	Mangler viden om skalerbarhed og CAPEX/OPEX for teknologi
	Der skal udføres LCA for de teknologier, man påtænker at anvende til 4. rensetrin
	LCA af det totale aftryk af den anvendte teknologi

6.5 Teknologibeskrivelser for slamhåndtering

Monoforbrænding er en teknologi, hvor slam afbrændes ved høje temperaturer (800-1.000° C) under tilstedeværelse af ilt, hvilket resulterer i komplet oxidation af organisk materiale og effektiv nedbrydning af MFS. Teknologien kræver ofte støttebrændsel og producerer overskudsvarme, røggas, flyveaske og bundaske som restprodukter. Røggassen kræver rensning for at fjerne skadelige stoffer, mens flyveasken typisk deponeres. Bundasken kan potentielt anvendes som gødningskilde. Monoforbrænding er veletableret i Danmark og har vist sig effektiv til at nedbryde lægemidler og PFAS, selvom der kan opstå flygtige tungmetaller i flyveasken ved ufuldstændig oxidation.

Pyrolyse indebærer opvarmning af slam til 300-650° C under iltfrie forhold, hvilket resulterer i ufuldstændig forbrænding og produktion af biokul, bioolie og pyrolysegas. Biokul er det primære produkt og kan anvendes som jordforbedringsmiddel og til kulstoflagring. Teknologien kræver et højt tørstofindhold i slammet og varierer i opholdstid, op til 3 timer. Pyrolyse er under indtog i Danmark og har potentiale til at nedbryde lægemidler fuldstændigt, selvom der kan opstå PAH'er ved ufuldstændig oxidation (bl.a. i biochar). Tungmetaller vil primært findes i biokul, mens PFAS kan findes i kondensvand og biokul. Pyrolysegas kan anvendes som brændstof, men kræver rensning, afhængigt af indholdet.

Hydrothermal Liquefaction (HTL) er en teknologi, hvor vådt slam behandles ved 300-400° C og 200-300 bar, hvilket resulterer i bioolie og biokul som primære produkter. Vand i kritisk tilstand (højt tryk og temperatur) anvendes som katalysator og reaktant, hvilket muliggør en accelereret oledannelsesproces. HTL er velegnet til vådt fødemateriale med et tørstofindhold under 25 %. Teknologien har potentiale til fuldstændig nedbrydning af lægemidler, selvom PAH'er kan være til stede. Tungmetaller forventes opkoncentreret i biokul. Ikke-nedbrudt PFAS forventes primært at findes i bioolien, men kan også være i kul ved lavere temperaturer. HTL er stadig under udvikling og kræver yderligere demonstrationer for at bevise sin effektivitet.

Kemisk oxidation anvender stærke oxidationsmidler som ozon, hydrogenperoxid eller persulfat til at danne reaktive hydroxyl-radikaler, der kan nedbryde miljøfarlige, forurenende stoffer. Fordelene ved denne teknologi inkluderer potentiel nedbrydning ved lave temperaturer og lavt tryk samt kendte og simple processer. Ulemperne omfatter behovet for høje doser af oxidationsmidler og høje driftsomkostninger samt begrænset effektivitet over for PFAS og tungmetaller.

6.6 Delkonklusion workshop 2 om det 4. rensetrin

Workshoppen om det 4. rensetrin har givet indsigt i de aktuelle udfordringer ved og fremtidige behov for implementering af avancerede renseteknologier i danske renseanlæg. Deltagerne, som repræsenterede et bredt spektrum af interessenter fra forsyninger, myndigheder, teknologileverandører og vidensinstitutioner, identificerede flere nøgleområder for fremtidig udvikling og opmærksomhed.

En central udfordring er behovet for mere viden og klare regulatoriske rammer. Dette omfatter både viden om teknologiernes effektivitet og driftsforhold samt tydelige retningslinjer fra myndighederne for implementering af det 4. rensetrin, hvilket nu er på vej i form af krav i byspildevandsdirektivet. Økonomiske aspekter blev også identificeret som en væsentlig barriere, da implementeringen af avancerede renseteknologier udgør en betydelig investering for forsyningerne.

Teknologisk set viste workshoppen, at der allerede eksisterer en række lovende løsninger til rensning af spildevand, primært baseret på ozonering og aktivt kul. Dog blev der udtrykt behov for yderligere udvikling af mere bæredygtige og energieffektive teknologier, der kan imødekomme fremtidige skærpede krav til rensning af miljøfarlige stoffer uden at kompromittere forsyningernes mål om energineutralitet. Herunder blev der også arbejdet med håndteringen af restprodukter som særligt fokusområde. Her blev der efterlyst innovative løsninger til effektiv nedbrydning eller destruktion af MFS, samtidig med at værdifulde næringsstoffer bevares og genanvendes.

Workshoppen understregede vigtigheden af at anlægge en holistisk tilgang til udviklingen af det 4. rensetrin, hvor aspekter som ressourceeffektivitet, klimapåvirkning og fleksibilitet indtænkes allerede i designfasen. Dette inkluderer behovet for modulære løsninger, der kan tilpasses fremtidige krav, samt forbedrede analysemetoder og overvågningssystemer til at sikre optimal drift og dokumentation af renseeffektivitet.

7. Workshop 3: PFAS i vand

PFAS-problematikken har haft samfundets og mediernes bevågenhed i Danmark siden 2021, og der er detekteret PFAS overalt i vandmiljøet, hvilket udgør en trussel mod miljøet og visse steder også mod folkesundheden. Formålet med workshoppen om PFAS i vand var at diskutere, dels hvordan myndigheder sikrer implementering af lovgivning, dels udfordringerne med kildeopsporing og prøvetagning; hertil også at afdække indsatsområder overfor PFAS og teknologiske udviklingsbehov.

Workshopprogrammet var sammensat med oplæg, der omhandlede:

- Gældende og kommende lovgivning ved Miljø- og Ligestillingsministeriet.
- Kildeopsporing fra MAP'N TREAT-projektet (MUDP-støttet udviklingsprojekt fra 2022).
- Case med decentral rensning af PFAS på nedlagt deponi.
- Case om udfordringer med prøvetagning og detektion af PFAS på delstrømme fra renseanlæg.

Workshoppens deltagere, der var inviteret gennem bl.a. netværk og via LinkedIn, repræsenterede følgende grupper:

- **Forsyninger:** 5 forsyninger, herunder Silkeborg Forsyning, BIOFOS, Herning Vand, Smidstrup Vand, Aarhus Vand.
- **Brancheforeninger og lovgivere:** repræsentanter fra Dansk Miljøteknologi, Water Valley Denmark, Kommuner, Miljøstyrelsen og Miljø- og Ligestillingsministeriets departement.
- **Virksomheder:** Norrecco, Novo Nordisk, Ørsted og Odense Renovation.
- **Teknologileverandører:** 2 grupper med deltagere fra Krüger, Techras, CWT Nordic, ULTRAAQUA og Suez.
- **Rådgivere og vidensinstitutioner:** NIRAS, WSP, Envidan, PlanEnergi, Rambøll, DJ Miljø & Geoteknik, AC Birk, Boes Consulting og Teknologisk Institut.

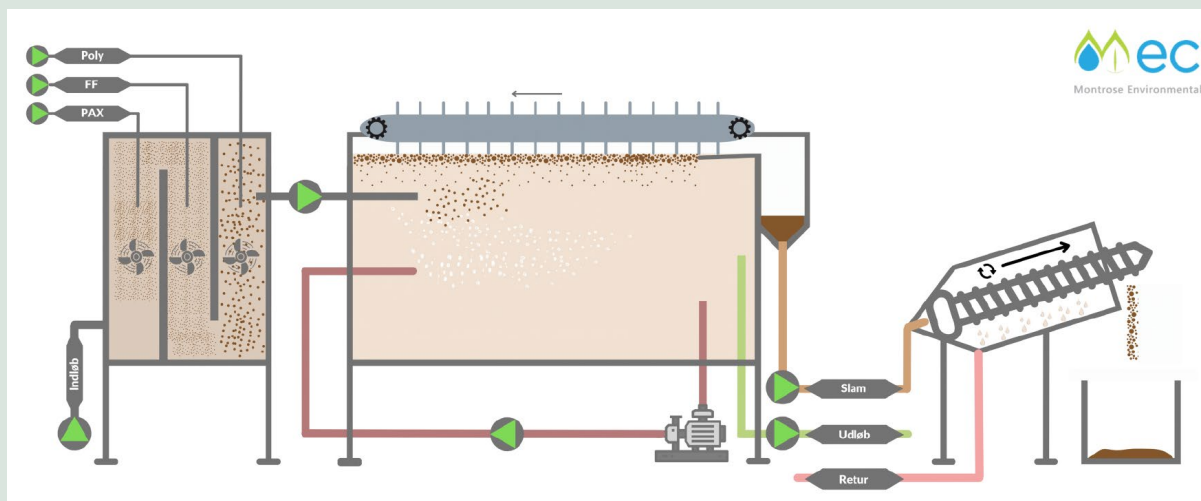
Workshoppen samlede således en bred vifte af interessenter fra forskellige sektorer og perspektiver relateret til problematikken omkring PFAS i vand.

Selve workshoppen bestod af to dele, og aktørerne var inddelt i grupper i første del. Den ene gruppe bestod af myndigheder (repræsentanter fra kommuner, Miljøstyrelsen, Miljø- og Ligestillingsministeriets departement) og rådgivere, og den anden gruppe bestod af forsyninger, virksomheder og teknologileverandører.

7.1 Casebeskrivelse af rensning ved deponi

Rensning af punktkilder

I forbindelse med workshoppen præsenterede virksomheden ECT₂ en case med decentral punktkilderensning for PFAS, der er ét ud af flere bud på en ny renseløsning til PFAS på deponier. Skårup deponi har installeret et renseanlæg til reduktion af PFAS, så tilledning af PFAS til Skanderborg Forsynings renseanlæg minimeres på en omkostningseffektiv måde. Teknologikonceptet for decentral PFAS-rensning er vist i FIGUR 3. Konceptet består af 1) tilsætning af flokkuleringsmidler, herunder Fluorflok, der specifikt rammer PFAS, og 2) efterfølgende flotationsanlæg, hvor PFAS-skummet udtages og afvandes i en skruepresse. Konceptet viste sig effektivt til at fjerne både lang- og kortkædede PFAS-forbindelser fra perkolatet med dokumenterede reduktioner på op til 93 % for PFAS sum 4 og 82 % for PFAS sum 22. Det er fortsat de kortkædede PFAS-stoffer, der er sværest at fjerne fra vandfasen. Processen involverer tilsætning af Fluorflok i kombination med aluminiumklorid og polymer, hvilket resulterer i flokkulering og opkoncentrering af PFAS i slamfraktionen.



FIGUR 4. Overblik over Skårup deponis renseløsning til PFAS-fjernelse. Figur: ECT₂.

Tilgangen med koagulering med tilsætning af Fluorlok tilbyder fleksibilitet, da forskellige typer anlæg og teknologier kan tilpasses specifikke behov og forhold på lokale forureningskilder som deponier og brandøvelsespladser.

Decentral rensning af spildevand sigter mod at opnå en væsentlig reduktion af PFAS og andre MFS, inden det nu forrensedede - tidligere stærkt - forurenede vand blandes sammen med eksempelvis husholdningsspildevand. Vandstrømmen efterbehandles derefter på et af de centrale renseanlæg, sammen med andre spildevandsfraktioner. Overordnet fremstår decentral rensning af spildevand fra deponier som en praktisk og økonomisk forsvarlig løsning. Løsningen kan implementeres effektivt for at tackle PFAS og anden forurening med MFS, og samtidig bliver lokale forhold og bredere miljøhensyn inddraget i strategien.

Konceptet inkluderer også muligheden for at kombinere tilsætning af Fluorlok med andre renseteknologier, såsom anvendelse af aktivt kul og ionbyttere for at opnå yderligere rensning, især når rensning til meget lave koncentrationer er påkrævet.

Prissætning af anlæg vil variere fra sted til sted, især på grund af den lokale vandkvalitet, der har indflydelse på antallet af behandlingstrin og påkrævet dosering af Fluorlok. Det er dog med udgangspunkt i casen fra Skårup og Hedeland deponier muligt at få en indikation på behandlingsprisen (TABEL 17). Det vil være behæftet med en væsentligt forøget udgift, hvis vandet også skal behandles med adsorptionskolonner for at øge fjernelsesgraden yderligere.

TABEL 17. Estimerede behandlingspriser med anlæg fra ECT₂. *OPEX for Hedeland deponi er baseret på en samlet pris for filtermaterialer, arbejds løn og destruktion på 5 millioner DKK/år.

Teknologi	Anlægsstørrelse	CAPEX	OPEX
Anlæg FIGUR 3 (Skårup deponi)	35.000 m ³ /år	2.200.000 DKK	35 DKK/m ³
Hedeland deponi (anlæg FIGUR 3 + adsorption med kul og resin)	32.000 m ³ /år	2.200.000 DKK + adsorptionskolonner	191* DKK/m ³

7.2 Del 1: Udfordringer ved implementering af lovgivning, kildeopsporing og prøvetagning

Formålet med del 1 af workshoppen var for myndigheder og rådgivere at afklare udfordringer ved implementering af lovgivning, og det samme var gældende for forsyninger og teknologileverandører, dog med særligt fokus på evt. tekniske udfordringer. Ift. lovgivning var der fokus på både det vedtagne byspildevandsdirektiv, den reviderede vejledning om tilslutning af industrispildevand til offentlige spildevandsanlæg nr. 77 (revideret fra 2006 og offentliggjort i 2025 efter workshoppen 15/11-2024) og vandrammedirektivet ift. overholdelse af miljøkvalitetskrav i recipienter.

Som det fremgår af TABEL 18, udtrykte de deltagende kommuner behov for klare og tydelige vejledninger fra Miljøstyrelsen ift. forvaltning af byspildevandsdirektivet med revurderinger af tilslutnings- og udledningstilladelser hvert 10. år. Særligt var der fokus på håndtering af overskridelser af miljøkvalitetskrav (MKK) i recipienter samt håndtering af diffuse kilder. Der er et stort behov for yderligere vidensdeling på forskellige niveauer, fra hotline til erfagrunder, ift. at løfte opgaven om især PFAS-forurening. For at kunne løfte ekstra opgaver som forvaltning af lovgivning etc. efterspørges tilførsel af yderligere ressourcer.

For gruppen med forsyninger, rådgivere og virksomheder, der havde et mere teknisk fokus, fyldte udfordringerne med klare og realistiske krav til reduktion af MFS – ikke kun teknologisk, men også ift. den økonomiske omkostning forbundet hermed for både punktkilder og forsyninger. Håndtering af blandingszoner og udfordringer med overskridelser af kvalitetskrav for flere MFS optog deltagerne. Ved implementering af renseteknologier forudsættes også en fremtidssikring af denne investering ift. forventede skærpede krav i andre lovgivninger som fx kemikalie- og produktlovgivning. Der blev også fokuseret på økonomien ved implementering af rense-teknologi både ved virksomheder og hos forsyninger samt på udfordringen ved at "jagte" de sidste nanogram ift. den økonomiske belastning.

TABEL 18. Input fra myndigheder*/rådgivere og forsyninger/teknologileverandører ift. implementering af nuværende og kommende lovgivning.

*Myndigheder dækker primært over kommuner og regioner, med enkelte input fra MST.

	Myndigheder*/rådgivere Hvad kræves for implementering af lovgivning hos relevante aktører?	Forsyninger/teknologileverandører Fokus på tekniske udfordringer ift. lovgivning?
Forvaltning	• Ensartet forvaltning kræver hjælp til kommuner fra centralt hold. • Behov for vejledninger fra MST ift. tilslutningstilladelser. • Behov for vejledninger fra MST ved revurdering af tilslutningstilladelser ved overskridelser af miljøkvalitetskrav, jf. direktiv om miljøkvalitetskrav. • Forrensning ved virksomheder inden tilslutning til kloak. • At omfanget af tilsyn øges. • Afklaring af, hvordan forureneren betaler-princippet skal implementeres for historiske forureninger. • Bedre samarbejde mellem virksomheder og myndigheder.	• Klare og realistiske krav til MFS-fjernelse fra MST. • Blandingszoner - hvordan håndteres dette? Må man blande flere strømme? • Omkostninger til rensekrav er urealistisk høje - se økonomi. • Forsyninger har også udfordringer med at overholde de skærpede krav. • Hjælp til at afdække, hvilke rensekrav det er muligt/realistisk at opnå – kvalitetskriterie for PFAS 24 beregnet som PFOA-ækvivalenter på 4,4 ng/l er problematisk. • Implementering af lovgivning for fx deponier. Fremtidssikring ift. totalforbud - kemikalie- og produktlovgivning følger med.
Vidensdeling	• Der er behov for at etablere hotline, kurser, erfagrunder m.m. • Viden om MFS i recipienter. • PULS-data for tilslutningstilladelser. • Håndtering af PFAS samles i større, central enhed - fx regioner?	• Viden om PFAS-kilder i produkter. • Hjælp til virksomheder. • PFAS-information ift. teknologivalg.
Økonomi	• Kommuner har ansvar for kildeopsporing, men mangler tid og ressourcer. • Mangler ressourcer til revurdering af tilladelser • Hvordan håndteres de diffuse kilder, uden at økonomien løber løbsk? • Flere tilsyn - kræver personale.	• Midler til at investere i renseteknologi ved forsyninger ift. at sikre overholdelse af MKK. Hvem skal i sidste ende betale regningen? • Omkostningstungt ved store vand-volumener. • Særligt tungmetaller og PFAS er dyre at håndtere renseteknologisk. • Meget omkostningstungt at jagte fjernelse af de sidste nanogram til opfyldelse af MKK. Kan eksempelvis en 90 %-reduktion være tilstrækkelig?

Derefter blev der i samme grupper diskuteret udfordringer med analyser og prøvetagning, se TABEL 19.

Begge grupper efterspurgte standarder for kildeopsporing og prøvetagningsmetodik, da dette er afgørende for den efterfølgende forvaltning. Der blev identificeret muligheder for at simplificere identifikation af punktkilder og tilhørende data, modellering samt kontinuerlig og systematisk sporing, da det er omkostningstungt og tidskrævende at udføre kildeopsporinger for den enkelte kommune. Ift. analyser blev dokumentation af analyser ift. overholdelse af MKK nævnt, da detektionsgrænser og MKK er tæt på hinanden. Nye, billigere og bedre analyser, hvor også PFAS-precursors (PFAS-forløbere) inkluderes, fyldte en del på workshopen.

Begge grupper efterspurgt håndtering af PFAS-forurenet jord og foreslog derfor etablering af jorddeponier, fra hvilke vandet skal renses for PFAS, indtil bedre løsninger er identificeret. Substitution af uønskede stoffer samt udfordringer med indholdsstoffer i produkter ud fra deklara-tionskrav vanskeliggør virksomheders (og myndigheders) viden om stoffer i egen udled-ning. Jf. gældende lovgivning kræves kun deklaration af stoffer tilsat et givent produkt over 0,1 %, og det betyder, at det er meget vanskeligt at detektere og identificere evt. uønskede stoffer. Slutteligt blev der stillet et forslag omkring en mere central håndtering af PFAS på regionalt ni-veau.

TABEL 19. Input fra myndigheder*/rådgivere og forsyninger/teknologileverandører ift. kildeop-sporing og analyser.

*Myndigheder dækker primært over kommuner og regioner, med enkelte input fra MST.

	Myndigheder*/rådgivere Udfordringer ift. kildeopsporing	Forsyninger/teknologileverandører Fokus på kildeopsporing og grænse-værdier
Kildeopsporing/metodik	• Mangler vejledning om MFS-priori-tering. • Håndtering af diffuse kilder, flere non-target-analyser, så alt findes. • Skal have styr på opland og kilder - påhviler ofte forsyninger, kræver ressourcer. • Mangler database med MFS-kilder med kvalitetssikret data. • Modellering i recipient og tilbage-beregning er en god idé - opbyg sy-stem. • Der skal renses mere ved kilden.	• Der mangler standard for kildeop-sporing. • Kommuner skal udføre mere kilde-opsporing. • Der skal tilføres ressourcer. • Dyrt og tidskrævende at kilde-spore i opland. • Mange kilder opdages ikke. • Mangler metoder til kontinuert og systematisk kildeopsporing.
Prøvetagning/analyser	Prøvetagning • Hjælp til prøvetagning. ◦ Grap-, flux-, sammen-blandinger, passive sam-plers. • Design af prøvetagning i samar-bejde med virksomheder. • Kontrol frem for tillid. Analyser • Sikre, at precursors (forløbere) analyseres. • Problematisk med detektions-grænser meget tæt på MKK. • Priser; det er dyrt at screene for PFAS. • Mangel på teknologi, hvad kan an-vendes ud over sorbiceller?	Prøvetagning • Manglende standard for prøvetag-ning - hvordan bør prøver udtages? Analyser • Udfordring, at grænseværdier og de-tektionsgrænser ligger så tæt. • Billigere analyser ift. detektions-grænser.
Diverse	PFAS i jord • Opret centrale jorddeponier, evt. styret af regionerne.	PFAS i jord • Oprettelse af statslige deponier, im-plementering af teknologier til rens-ning. • Klare roller for ansvar for PFAS-rensningsprojekter - ansvar, økonomi og beslutningstager, fx regioner.

7.3 Del 2: Prioritering af indsatsområder for PFAS og udviklingsbehov

I anden del af workshoppen var der ikke længere en opdeling i de førnævnte grupper. Fokus for anden del af workshoppen var at få prioriteret indsatsområder for PFAS samt at få afdækket ønsker til teknologisk udvikling, der kan afhjælpe teknologiske Gaps (mangler).

I forbindelse med diskussion af prioritering af PFAS-indsatsområder genbesøgte grupperne problematikkerne omhandlende prøvetagning, kildeopsporing og analyser. Der var bred enighed om fokus på punktkilder, heriblandt deponier, men også på spildevand, områder med drikkevandsinteresse, regnvand samt bidrag fra landbruget. Ligeledes blev oprensning af historiske PFAS-forureninger, branchespecifikke kildeopsporinger samt forståelse af baggrundsniveauer fremhævet.

Der blev fremsat ønsker til oversigter over renseteknologier og de dertil hørende omkostninger opgjort på vandtype samt viden om, hvordan både rensning og ønsket om bæredygtighed kan opnås.

Der var mange input til teknologiske ønsker, som er oplistet nedenfor:

Teknologiske ønsker afdækket i workshoppen

- Forbedrede analysemetoder til opstilling af PFAS-massebalance.
- Fuldskalaerfaringer med PFAS-rensning for forskellige vandtyper.
- Udvikling af billigere PFAS-renseteknologier, der kan rense helt ned til MKK.
- Udvikling af teknologier målrettet de kortkædede PFAS.
- Standardmetoder ift. dokumentation af teknologier ift. overholdelse af krav.
- Udvikling af teknologier til rensning for flere MFS på samme tid, herunder PFAS og tungmetaller.
- Nye teknologiske PFAS-renselsløsninger, der ikke genererer affaldsfraktioner.
- Forbedrede metoder til opkoncentrering af MFS i slamfraktion.
- Forbedrede metoder til destruktion af PFAS-slam/affaldsfraktioner.
- Konkret udfordring ift. PFAS-fjernelse fra jord.

7.4 Delkonklusion, workshop 3 om PFAS

Workshoppens første del afdækkede centrale udfordringer og behov relateret til håndteringen af PFAS og andre miljøfarlige stoffer (MFS) i spildevand. Deltagerne udtrykte et klart behov for tydelige retningslinjer og vejledninger fra Miljøstyrelsen vedrørende implementering af lovgivning, så god administrationspraksis kan opstå. Det gælder især byspildevandsdirektivet, der omfatter revurdering af tilslutnings- og udledningstilladelser hvert 10 år, og hvordan miljøkvalitetskrav til recipienter kan overholdes, når grænseværdier og detektionsgrænser ligger så tæt. Der var også stor efterspørgsel på vidensdeling og ressourcer til kildeopsporing og revurdering af tilladelser.

Teknologiske udfordringer stod centralt med fokus på udvikling af effektive og økonomisk overkommelige renseteknologier for PFAS. Ønsker om multifunktionelle og bæredygtige løsninger blev fremhævet. Økonomiske bekymringer var fremtrædende i forhold til både implementering af nye teknologier og overholdelse af skærpede krav.

Fremtidssikring af investeringer og håndtering af komplekse forureningsscenarier, herunder diffuse kilder og blandingszoner, blev også diskuteret. Forbedrede analyse- og dokumentationsmetoder blev efterspurgt for at sikre præcis måling og effektiv teknologivurdering.

Workshoppens anden del fokuserede på prioritering af PFAS-indsatsområder og teknologiske behov. Deltagerne identificerede vigtige fokusområder som punktkilder, deponier, spildevand,

drikkevand, regnvand og bidrag fra landbruget. Historiske PFAS-forureninger og branchespecifikke kildeopsporinger blev også fremhævet.

Teknologiske ønsker omfattede forbedrede analysemetoder for PFAS-massebalancer, billigere renseteknologier til at nå miljøkvalitetskrav (MKK), særligt for kortkædede PFAS, og multifunktionelle, bæredygtige løsninger til håndtering af flere miljøfarlige, forurenende stoffer (MFS) samtidig. Slamhåndtering, standardisering af teknologidokumentation og erfaringer med PFAS-rensning i fuldskala var andre vigtige emner. Specifikt blev behovet for PFAS-fjernelse fra jord nævnt.

Afslutningsvis efterspurgtes oversigter over renseteknologier med tilhørende omkostninger for forskellige vandtyper samt viden om at balancere effektiv rensning med bæredygtighed. Der er arbejdet med udvikling af teknologiske løsninger til at begrænse udbredelsen af PFAS. Der er de seneste år bevilget MUDP-udviklingsprojekter målrettet: substitution af PFAS; forbedrede analysemetoder og hurtige tests; renseteknologier til spildevand belastet med PFAS og vand fra deponier samt udvikling af destruktionsmetoder. Ingen af disse rapporter er endnu offentliggjort da projekterne er i gang, hvorfor der heller ikke er medtaget beskrivelser heraf. Hvilke projekter, der har bevilget statsstøtte fra MUDP kan ses på [MUDPs hjemmeside](#).

Det kan desuden tilføjes, at der findes en række danske og internationale aktører, der arbejder med problemstillingen, indenfor alt fra drikkevand til perkolat fra deponier, og flere steder er der ved punktkilder implementeret rensning for PFAS i fuldskala. Der eksisterer dog ikke en BAT (Best Available Technology) for punktkilder ift. PFAS-rensning, hvilket vanskeliggør udbredelsen af renseteknologier. Spildevandssammensætningen og dermed de rensegrader, der kan opnås, varierer fra case til case, hvilket gør det svært at opsummere i én samlet oversigt. Der kunne dog med fordel arbejdes hen imod at samle de erfaringer, der er fra danske og internationale projekter, således at virksomheder og andre problemejere kan finde cases at spejle sig i, når de skal vælge en renseløsning, der passer til deres behov. To sådanne cases er præsenteret i afsnit 7.1.

8. Sammenhæng mellem innovationspartnerskabet og det strategiske partnerskab

Det strategiske partnerskab er et initiativ under daværende Miljøministeriets "Strategi for miljøfarlige stoffer - et vandmiljø uden farlig kemi" fra december 2021. Siden august 2024 er der sket ressortomlægning, så ministeriet nu hedder Miljø- og Ligestillingsministeriet.

Formålet med det strategiske partnerskab er at styrke indsatsen for at reducere udledningen af miljøfarlige, forurenende stoffer til vandmiljøet gennem et tværgående samarbejde mellem forskellige interessenter.

Ministeriets strategi indeholder 20 nye initiativer inden for 5 overordnede målsætninger:

- I. Identificere og prioritere de væsentligste miljøfarlige, forurenende stoffer og kilde-derne til disse i vandmiljøet. Dette inkluderer at få mere viden om forekomst, transportveje og effekter af stofferne.
- II. Identificere relevante virkemidler og teknologiske løsninger, der kan begrænse udledningen af de prioriterede miljøfarlige, forurenende stoffer. Herunder afdækning af behov for nye renseløsninger og substitution af problematiske stoffer.
- III. Bidrage til en mere målrettet regulering af miljøfarlige stoffer ved at kvalificere grundlaget for fastsættelse af miljøkvalitetskrav, kildeopsporing og vurdering af virkemidler.
- IV. Fremme teknologiudvikling og innovation inden for rensemetoder og overvågning af miljøfarlige stoffer gennem vidensdeling og samarbejde på tværs af sektorer.
- V. Etablere et samlet overblik over status, udfordringer og løsningsmuligheder for at reducere forurening med miljøfarlige stoffer fra både punktkilder og diffuse kilder.

Initiativerne spænder fra fastsættelse af nye miljøkvalitetskrav, modellering, kildeopsporing og lovgivningsgennemgang til etablering af det tværgående partnerskab og fremme af innovativ teknologiudvikling. Det strategiske partnerskab er således en central del af den samlede nationale indsats for at adressere udfordringen med miljøfarlige stoffer i vandmiljøet gennem vidensdeling, regulering og nye teknologiske løsninger.

Innovationspartnerskabet for MFS - i regi af Miljøteknologisk Udviklings- og Demonstrationsprogram (MUDP) - er en konkret del af det overordnede strategiske partnerskab beskrevet i Miljøministeriets strategi for miljøfarlige stoffer fra 2021²⁴. Formålet med innovationspartnerskabet for MFS er specifikt at understøtte teknologiudvikling og fremme innovative løsninger til at reducere udledningen af miljøfarlige stoffer til vandmiljøet.

Årsagen til etablering af de to partnerskaber udspringer af det gældende vandrammedirektiv, hvori et af målene er, at alle vandområder skal have opnået god kemisk og økologisk tilstand i 2027. Dette har vist sig at være en vanskelig opgave, og derfor er der prioriteret forskellige initiativer, så målene kan nås.

²⁴ https://mim.dk/media/4lhku3yb/strategi-for-miljoefarlige-stoffer_17122021.pdf

EU's vandrammedirektiv skal sikre beskyttelsen af vandløb, søer, kystvande og grundvand i alle EU-lande²⁵. Direktivet fastsætter miljømål og overordnede rammer for planlægning, gennemførelse af tiltag og overvågning af vandmiljøet. En vigtig parameter for både den kemiske tilstand og den økologiske tilstand er de miljøfarlige, forurenende stoffer (MFS).

En oversigt over vandområders kemiske tilstand og økologiske tilstand i 2021-2027, fremgår af TABEL 20 og TABEL 21.

TABEL 20. Kemisk tilstand ifølge MiljøGIS for offentliggørelse af vandområdeplanerne 2021-2027²⁶.

Vandområdetype	Målsat	God tilstand	Ikke-god tilstand	Ukendt tilstand
Kystvande (antal)	123	8 (7 %)	111 (90 %)	4 (3 %)
Søer (antal)	986	92 (9 %)	201 (20 %)	692 (71 %)
Vandløb (antal)	18.600	240 (1 %)	870 (5 %)	17.460 (94 %)

TABEL 21. Tilstand for nationalt specifikke stoffer under den økologiske tilstand iflg. vandområdeplanerne 2021-2027²⁶.

Vandområdetype	Målsat	God tilstand	Ikke-god tilstand	Ukendt tilstand
Kystvande (antal)	109	82 (75 %)	16 (15 %)	11 (10 %)
Søer (antal)	986	9 (1 %)	164 (17 %)	813 (82 %)
Vandløb (antal)	18.600	190 (1 %)	900 (5 %)	17.490 (94 %)

Som det fremgår af ovenstående, er status, at der generelt er et stort videnshul, hvad angår tilstanden for MFS i vandmiljøet, men de eksisterende data tyder på omfattende overskridelser af miljøkvalitetskravene for en række problematiske stoffer i alle vandområdetyper. Mange vandområder opfylder altså ikke miljømålene for MFS i de kommende danske vandområdeplaner, som er gældende fra 2027. Miljøkvalitetskravene overskrides især for tungmetaller (kvik-sølv, bly og cadmium), PAH'er, perfluorerede stoffer (PFOS) og pesticider.

De væsentlige kilder til MFS i vandmiljøet er:

- Atmosfærisk deposition (fra luften).
- Forurenede grunde.
- Industri.
- Landbrug.
- Regnvandsudløb.
- Renseanlæg.

Kilderne spænder fra punktkilder som rensesanlæg, industri og regnvandssystemer til diffuse kilder som luftbåren forurening, landbrug og jordforureninger. Dette indikerer, at der er mange forskellige kilder, som bidrager til MFS i vandmiljøet.

Af ovennævnte årsager er der nedsat to partnerskaber: det strategiske partnerskab og innovationspartnerskabet for MFS.

²⁵ Europa-Parlamentets og Rådets direktiv 2000/60/EF af 23. oktober 2000 om fastlæggelse af en ramme for Fællesskabets vandpolitiske foranstaltninger.

²⁶ MiljøGIS, 2024.

9. Samlet konklusion

Innovationspartnerskabet for MFS har gennem tre målrettede workshops og omfattende dialog med interessenter i vandbranchen belyst de væsentligste udfordringer og udviklingsbehov relateret til håndtering af miljøfarlige stoffer (MFS) i det danske vandmiljø. Fokus har været på tungmetaller, implementeringen af det 4. renses trin og PFAS i vand, hvilket afspejler de aktuelle prioriteter i den nationale og europæiske vandmiljøindsats.

Undersøgelserne har vist, at der er et presserende behov for at adressere MFS-problematikken i forskellige vandtyper med særlig vægt på spildevand, almindeligt, belastet overfladevand og industrielle punktkilder. Der eksisterer allerede en række teknologiske løsninger, men der er fortsat behov for optimering og tilpasning for at imødekomme fremtidige regulatoriske krav og mål for bæredygtighed og økonomisk rentabilitet.

Et gennemgående tema i alle workshops var behovet for ensartede krav og administrationspraksis på tværs af kommuner og virksomheder. Den gældende lovgivning kræver en individuel vurdering af virksomheder ved tilslutning til kloak, men disse vil afhænge af forsyningernes udledningstilladelser. Det bevirker at kravene er forskellige, hvilket kan være en udfordring ift. udviklingen og implementeringen af nye teknologier som sikrer en mere effektiv og ensartet indsats mod MFS. Samtidig er der identificeret et stort behov for vidensopbygning, hvad angår både teknologiernes effektivitet og driftsforhold samt deres miljømæssige og økonomiske konsekvenser.

Innovationspartnerskabet har afdækket, at fremtidens teknologier til MFS-håndtering bør fokusere på:

- Øget fleksibilitet og skalerbarhed for at kunne tilpasses skiftende krav, varierende vandtyper og nye forureningsstoffer.
- Forbedret ressource- og energieffektivitet for at understøtte forsyningernes mål om energineutralitet og reducerede emissioner af klimagas.
- Integrerede løsninger, der ikke blot fjerner MFS, men også muliggør genanvendelse af værdifulde ressourcer som fosfor og kvælstof.
- Avancerede overvågnings- og analysemetoder til at sikre optimal drift og dokumentation af renseseffektivitet.
- Komplet og dokumenterbar nedbrydning af stofferne, så problemet ikke flyttes fra en matrice til en anden.

En særlig udfordring, som kræver yderligere teknologiudvikling, er håndteringen af restprodukter, især slam med høje koncentrationer af MFS. Her er der behov for teknologier, der effektivt kan nedbryde miljøfarlige stoffer, samtidig med at værdifulde næringsstoffer nyttiggøres, og uden et uforholdsmæssigt ressourceforbrug. Vigtigheden af en holistisk tilgang til MFS-problematikken er blevet klarlagt, en tilgang hvor regulering, teknologiudvikling, og implementering går hånd i hånd. Der er behov for styrket samarbejde mellem forsyninger, myndigheder, teknologileverandører og forskningsinstitutioner for at drive innovationen og sikre, at de udviklede løsninger er både bæredygtige og økonomisk rentable.

Afslutningsvis peger innovationspartnerskabet på, at Danmark har potentiale til at blive førende inden for udvikling og implementering af avancerede teknologier til MFS-håndtering. Dette kræver dog en målrettet og koordineret indsats, hvor investeringer i forskning og udvikling kombineres med en fremsynet regulering og en proaktiv tilgang fra alle aktører i vandsektoren. Ved at adressere de identificerede udfordringer og udviklingsbehov kan Danmark ikke

blot forbedre tilstanden af landets vandmiljø, men også styrke sin position som global frontløber inden for vandteknologi og bæredygtig vandforvaltning.

Teknologikatalog Innovationspartnerskabet for miljøfarlige forurenende stoffer

Teknologikataloget indeholder resultater fra arbejdet i Innovationspartnerskabet for miljøfarlige forurenende stoffer (MFS). Innovationspartnerskabet er bevilget af MUDP's bestyrelse og har i perioden 2022 – 2024 afholdt tre workshops omhandlende tungmetaller, det kommende 4. rensetrin for spildevandsbehandling og PFAS i vand. Formålet med alle workshops har været dels at få en status på gældende lovgivning, dels at afdække de eksisterende teknologiske løsninger og behovet for yderligere teknologisk innovation. Hvor det er muligt, er der i Teknologikataloget inkluderet information om anlægsomkostninger og driftsudgifter for de teknologiske løsninger.



Miljøstyrelsen
Lerchesgade 35
5000 Odense C

www.mst.dk