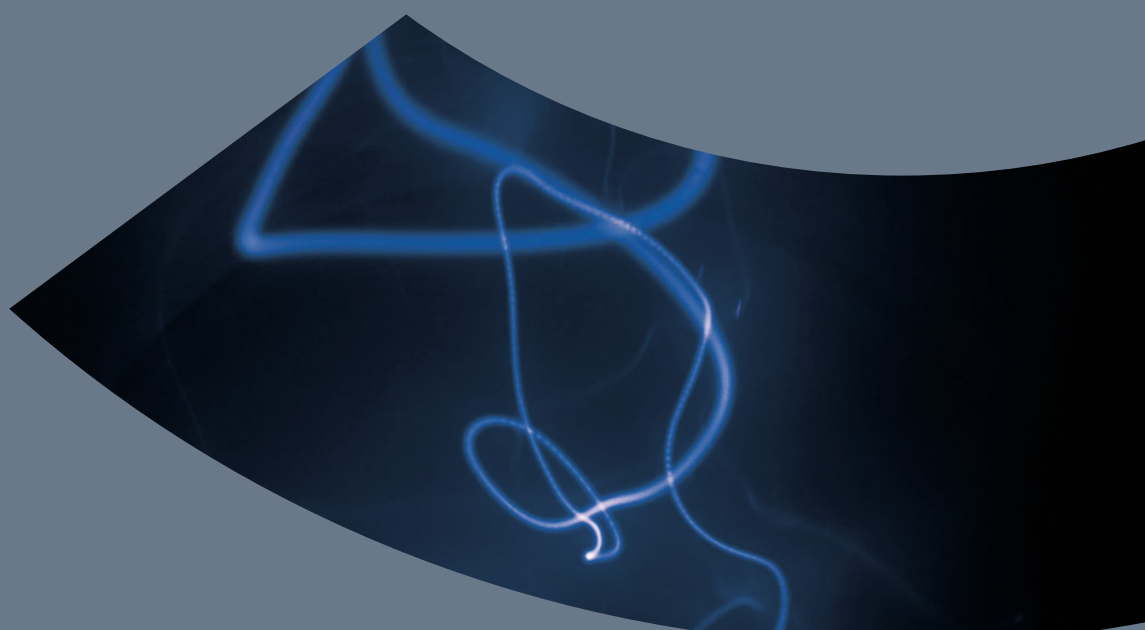




INDHOLD

- 2 Leder
- 3 Elektrokemi som alternativ
til pump-and-treat for
håndtering af forurenings-
faner
- 10 Naturlige kulbrinter
i overfladevandsprøver
- 16 Kort info
- 17 Opdatering af metode
til skelen mellem
pesticidkilder
- 24 Regionale anbefalinger
til klimatilpasning
- 27 Artikelovervågning

MILJØ OG RESSOURCER



LEDER

BEHOVET FOR TEKNOLOGIUDVIKLING

Store og svære udfordringer står i kø på jordforureningsområdet. Det seneste år har vi oplevet øget fokus på PFAS og særligt PFOS, vi har fået nye og lavere kriterier, og vi ser stadig flere fund på forurenede lokaliteter, i vandmiljøet og i grundvandet. PFAS er en stofgruppe, der stiller særlige krav til undersøgelser og renseteknologi, og derfor er regionerne ikke kun i gang med at blive klogere på problemets omfang – vi arbejder også på, hvordan vi bedst undersøger, risikovurderer, prioriterer og i sidste omgang afværger disse forureninger.

Desværre er de andre problemer ikke gået væk i mellemtiden. Vi har stadig pesticider i grundvandet, ja faktisk er vi stadig i gang med at udvikle og afprøve, hvordan vi bedst håndterer den udfordring i samspil med andre myndigheder og forsyninger. Hvor vi for få år siden endelig havde fået hul på problematikken om, hvordan vi kunne skelne forureninger fra flade- og punktkilder, står vi i dag med et langt mere komplekst billede.

Samtidig har regionerne fortsat en stor opgave med at undersøge og afværge gamle industriforureninger, lossepladser og andre forureningstyper, vi har større erfaring med. Vi er nået langt med teknologiudvikling, som har givet os bedre og billigere metoder til både undersøgelser og afværge. Det gælder også generationsforureningerne, som i stor skala har vist værdien af teknologiudvikling. Jo flere penge, man skal bruge på en opgave, desto mere er der grund til at investere i teknologiudvikling. Flere MUDP-projekter har været med til at gøre opgaven med at rense op på nogle af de største forureninger realistisk, både teknisk og økonomisk. Det kan vi kun glæde os over.

Ifølge jordforureningsloven er det Miljøministeriet, der forestår udvikling og afprøvning af ny teknologi inden for jordforureningsområdet, hvilket sker i Miljøstyrelsens teknologiudviklingsprogram (TUP). I aftalen om Finanslov 2022 blev der afsat 3 mio. kr. til udvikling og afprøvning af nye teknologier til oprensning af PFOS-forureninger. Det svarer til en fordobling af den sædvanlige pulje, så der i år er i alt 6 mio. kr. til TUP på Finansloven. Det er en god begyndelse, men rækker ikke langt i forhold til behovet for udvikling. Allerede sidste år blev der søgt om langt flere gode og relevante projekter end TUP-midlerne rakte til.

Til gengæld har bestyrelsen for MUDP meldt ud, at nye metoder til oprensning af jordforureninger er en af prioriteterne i årets MUDP-program. Desværre kan regionerne ikke deltage i ansøgninger under MUDP, og regionernes eventuelle bidrag med økonomi eller timer til projekterne modregnes i tilskuddet fra MUDP. Det sætter i praksis snævre grænser for, hvor meget regionerne kan engagere sig i projekterne. Vi har før undret os over dette, da den tilsvarende ordning på energiområdet, EUDP, ikke har denne begrænsning.

Alle er enige om, at teknologiudvikling på jordforureningsområdet er nyttigt, ikke blot for at løse opgaven, men også for at understøtte virksomheder og eksportmuligheder. Regionerne har som økonomisk stor og fagligt stærk aktør en naturlig rolle i arbejdet med teknologiudvikling. Den vil vi fortsat løfte bedst muligt inden for de rammer, vi har.

Bente Villumsen
2399 2372
bvi@regioner.dk

Kit Jespersen
9116 9263
kij@regioner.dk

Julie Kofoed
2042 5077
jko@regioner.dk

Christian Andersen
4022 3017
can@regioner.dk

Kurt Møller
6124 2576
kum@regioner.dk

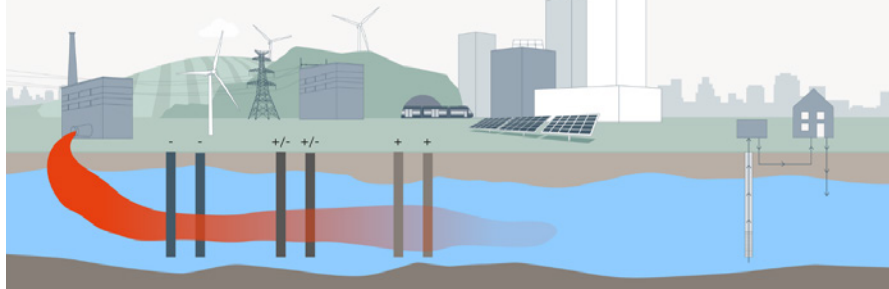
Mads Leerbech Jensen
3023 0016
mdj@regioner.dk

Elektrokemi som alternativ til pump-and-treat for håndtering af forureningsfaner

*Af Bente Højlund Hyldegaard,
Region Sjælland*

I de tilfælde, hvor afgrænsning af kildeområdet er særligt udfordrende, hvor flere kilder spæder til den samme forureningsfane eller ved blandingsforureninger, kan elektrokemi blive et vigtigt bidrag i indsatsen for at beskytte indvindingsoplandene.





Ved at sættes strøm til de jordlag, hvori grundvandet strømmer, kan der dannes en række kortlevende kemiske forbindelser, der er i stand til at nedbryde bl.a. klorerede opløsningsmidler. Dette betegnes som elektrokemisk nedbrydning.

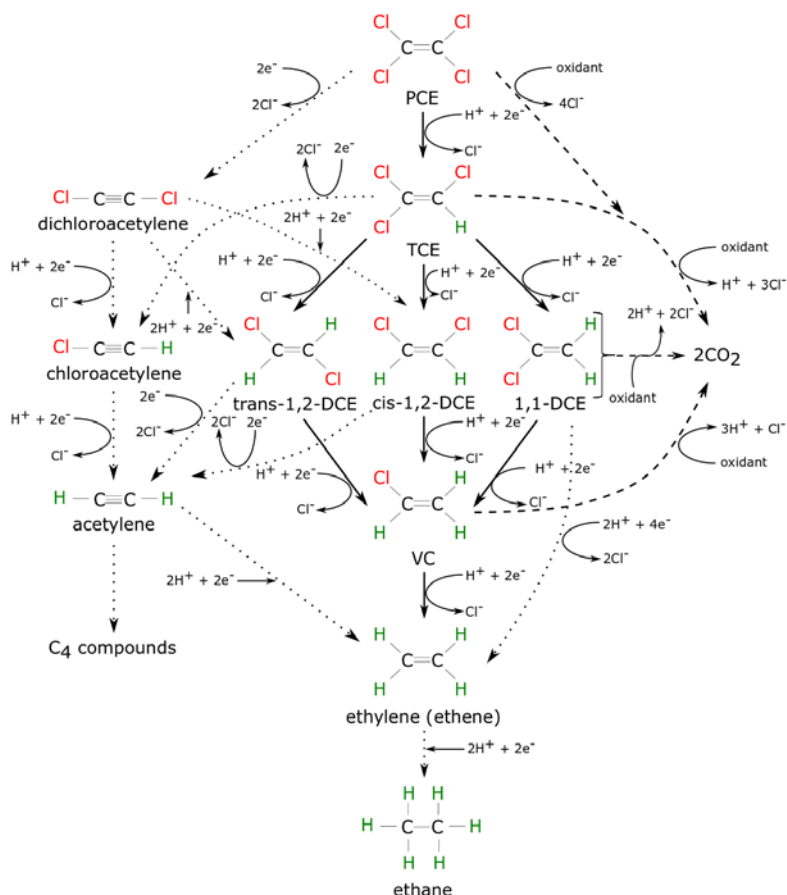
I praksis installeres elektroder i borer, der er filtersat i det forurenede højermeable magasin. Når elektroderne tilsluttes til en jævnstrømsforsyning, polariseres elektroderne, hvorved elektroderne bliver henholdsvis positivt ladede (anoder) og negativt ladede (katoder). I vandmættet jord stimulerer dette, med udgangspunkt i elektrolyse af vand, en række komplekse kemiske reaktioner, hvoraf nogle altså kan nedbryde forureningskomponenter som de klorerede opløsningsmidler. I en zone omkring anoden bliver forholdene oxiderende, mens de nær katoden bliver reducerende. Det eneste input, der driver nedbrydningen af forureningen, er den elektriske strøm. Der skal således ikke suppleres med ellers hyppigt anvendt kemi eller mikrobielle kulturer til grundvandsmagasinet for at igangsætte eller vedligeholde nedbrydningen.

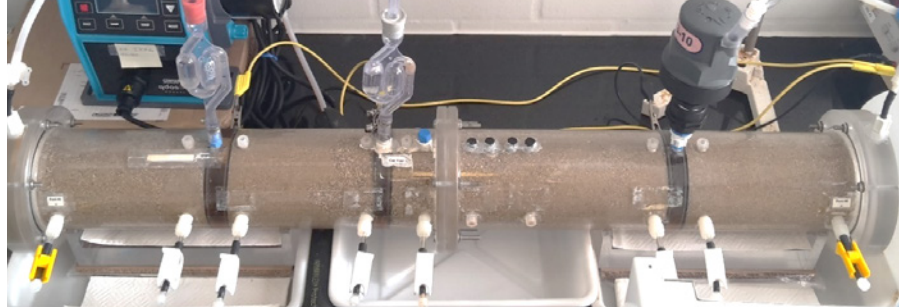
De elektrokemiske nedbrydningsmekanismer

Elektrolysen danner grundlaget for en kombination af nedbrydningsveje for forureningsstoffer baseret på abiotisk reduktion, abiotisk oxidation, biologisk reduktion samt biologisk oxidation. De dominerende processer ved elektrokemisk nedbrydning af de klorerede opløsningsmidler perklorethylen (PCE) og triklorethylen (TCE) samt de klorerede nedbrydningsprodukter diklorethylen (cis-DCE, trans-DCE, 1,1-DCE) og vinylklorid (VC) er vist i Figur 1.

FIGUR 1 ELEKTROKEMISK STIMULERED E NEDBRYDNINGSGVEJE FOR KLOREDEDE OPLØSNINGSMIDLER (PCE, TCE).

(PCE, TCE) og disses klorerede nedbrydningsprodukter (cis-DCE, trans-DCE, 1,1-DCE, VC) i grundvand: Biologisk reduktion (solide pile), abiotisk reduktion (prikkede pile og solide pile) og/eller abiotisk oxidation (stiplede pile) ¹.





Reelt er de elektrokemiske reduktions- og oxidationsprocesser dog mere komplekse, idet de kan stimulere fire primære processer (i-iv) samt to sekundære processer (v-vi):

- i) **Direkte kemisk reduktion** er, når de klorerede opløsningsmidler sorberer til katoden, hvorfra elektroner overføres direkte til de klorerede opløsningsmidler og foranlediger nedbrydning.
- ii) **Indirekte kemisk reduktion** sker, når elektroner overflyttes til de klorerede opløsningsmidler via hydrogen dannet ved elektrolyse.
- iii) **Direkte kemisk oxidation** er, når der overføres elektroner fra de klorerede opløsningsmidler til anoden gennem sorption til anoden.
- iv) **Indirekte kemisk oxidation** tager udgangspunkt i hydrogeokemien, der i den elektrokemiske oxidative zone kan omdannes til reaktive iltforbindelser, f.eks. peroxid, hydroxylradikaler og persulfat, der foranlediger nedbrydning af forureningen.
- v) **Biologisk reduktion** kan blive stimuleret i den elektrokemiske reductive zone ved naturlig tilstedeværelse af egnede mikrobielle kulturer.
- vi) **Biologisk oxidation** kan blive stimuleret i den elektrokemiske oxidative zone ved naturlig tilstedeværelse af egnede mikrobielle kulturer.

Kombinationen af disse mulige nedbrydningsmekanismer er en fordel, da enkeltstoffer dermed kan nedbrydes sideløbende via en eller flere processer. Dette er én af styrkerne ved elektrokemisk nedbrydning, da udnyttelse af flere nedbrydningsprocesser gør metoden mindre sårbar over for variationer i hydrogeologi og forureningssammensætning. De fleste andre rensningsstrategier udnytter ofte kun en enkelt nedbrydningsproces.

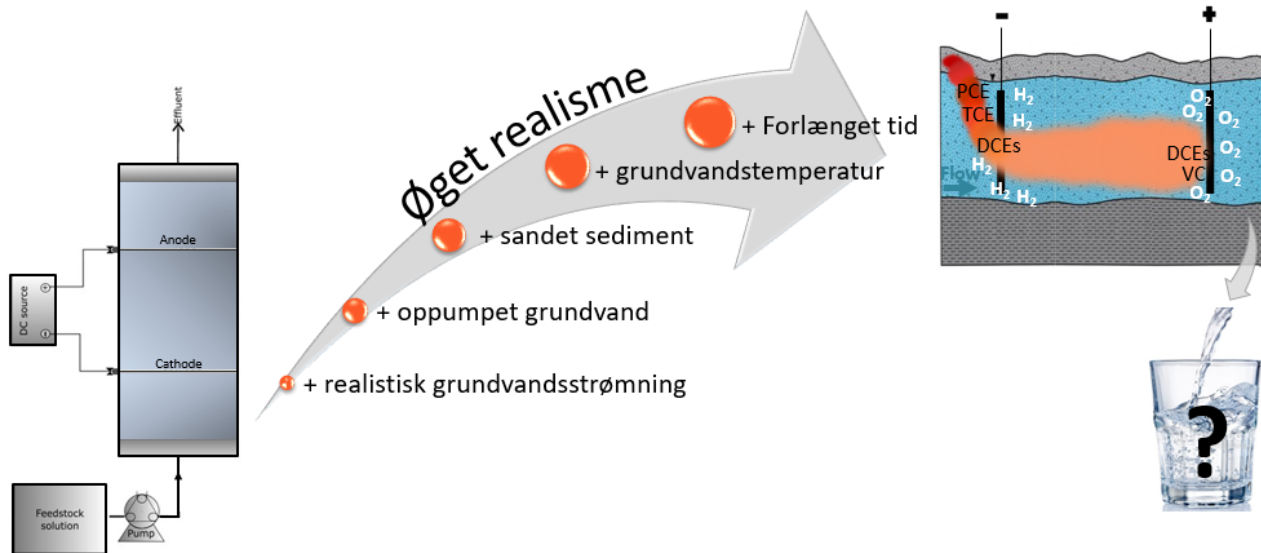
Udvikling af den elektrokemiske metode til nedbrydning af klorerede opløsningsmidler

Af større kendte forureningssager i Danmark med klorerede opløsningsmidler kan fremhæves seks ud af de ti såkaldte generationsforureninger: Grindsted, Kærgård Klitplantage, Himmark Strand på Als, Lundtoftevej i Lyngby, Naverland i Glostrup og Vestergade i Skuldelev.

Et partnerskab bestående af COWI, DTU Byg, Region Hovedstaden og U.S. Army Corps of Engineers udmøntede sig i et erhvervs-ph.d.-projekt (2016-2019), da parterne satte sig for at udvikle et mere effektivt og bæredygtigt alternativ til pump-and-treat til egentlig nedbrydning af klorerede opløsningsmidler i grundvand. Projektet blev finansieret af Innovationsfonden, COWI-Fonden, COWI, Region Hovedstaden, DTU og EliteForsk. Partnerne ønskede et alternativ til pump-and-treat, fordi det er en pladskrævende og omkostningstung teknologi med svingende effektivitet over for enkeltstoffer i gruppen af klorerede opløsningsmidler, der tilmed genererer et sekundært forurenende affaldsprodukt i form af kullet.

I forskningsprojektet blev det først undersøgt, hvilken betydning diverse elektrokemiske variable, f.eks. elektrodematerialer, elektrodekonfigurationer, strømstyrker m.fl., havde for nedbrydningen. Den bedste konfiguration set i forhold til nedbryd-

FIGUR 2 DEN ANVENDTE UNDERSØGELSESTRATEGI FOR ELEKTROKEMISK NEDBRYDNING AF KLOREREDE OPLØSNINGSMIDLER I GRUNDVAND.

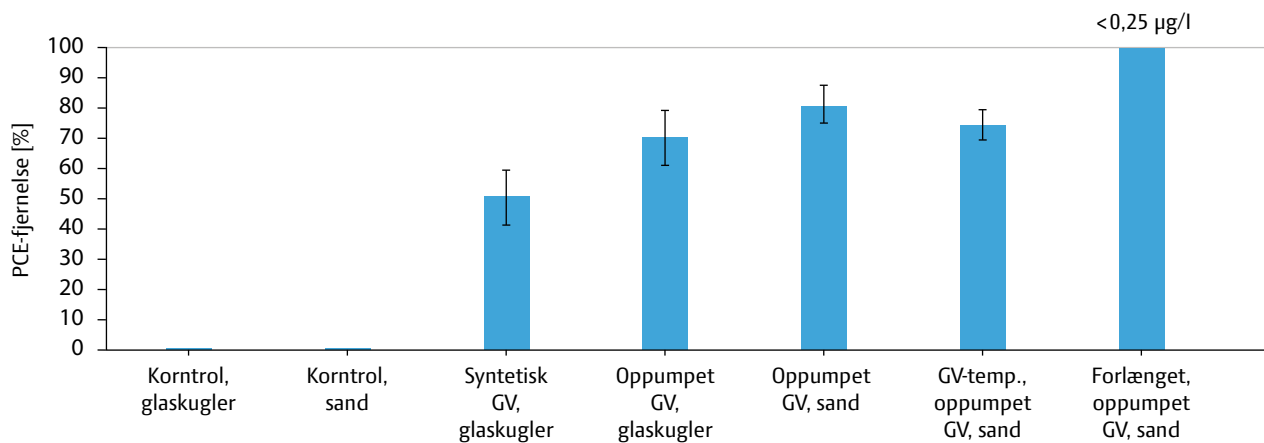


Fra simple laboratoriesystemer mod realistiske forureningssystemer under kontrollerede forhold i laboratoriet.

ningseffektiviteten blev valgt til det videre arbejde. Selve metoden med at sætte strøm til grundvandet blev udviklet og testet i realistiske forureningssystemer, der mindede om forurenede grunde for at gøre resultaterne mest muligt anvendelige. Specifikt ved at inkorporere naturligt sandet sediment, oppumpet forurenede grundvand, grundvandsstrømningshastigheder og grundvandstemperaturer tilsvarende forholdene i typiske danske grundvandsmagasiner. Den undersøgte forurening bestod primært af moderstoffet PCE med lave koncentrationer af TCE og cis-DCE. Da forurenede grundvandssystemer er komplekse, blev de naturlige parametre inkorporeret gradvist for at undersøge indvirkningen af parametrene på effektiviteten af den elektrokemiske nedbrydning af de klorerede opløsningsmidler. Det blev ligeledes undersøgt, hvilke ændringer den elektrokemiske metode forårsagede på hydrogeokemien. Alt sammen for at modne metoden fra laboratorie mod *in situ* afværge af forureningsfaner for beskyttelse af indvindingsoplande (Figur 2).

Et grundigt litteraturstudie viste, at den elektrokemiske metode kunne være effektiv, men *state of the art* var baseret på simplificerede forhold som syntetisk vand med ét forureningsstof og ét salt uden en porøs matrice. Et sådant system blev, jævnfør Figur 2, udgangspunktet for undersøgelsen af den elektrokemiske metode i komplekse systemer. Først blev der tilføjet glaskugler til kolonnen for at studere betydningen af et mere realistisk strømningsmønster for vandet ved realistiske grundvandsstrømningshastigheder. Dernæst blev det syntetiske grundvand udskiftet med oppumpet grundvand fra Region Hovedstadens forurenede testgrund, Innovationsgaragen. I de efterfølgende forsøg blev glaskuglerne erstattet med et sandet sediment. Dette system med realistisk grundvandsstrømningshastighed, oppumpet grundvand og sandet sediment blev derefter undersøgt ved temperaturer på 8-10 °C tilsvarende grundvandsmagasiner på vores breddegrader (de foregående forsøg blev udført ved stuetemperatur). Endelig blev der også lavet forsøg ved længere forsøgstider; 37 timer blev øget til 57 timer. Undersøgelserne indebar udtagning af vand- og luftprøver, da elektrodeprocesserne frigiver gasser. Af hensyn til massebalancer blev der desuden udført kontrolforsøg uden tilslutning af elektrisk strøm for at undersøge massetabet over opstillingen ved realistiske grundvandsstrømningshastigheder gennem henholdsvis glaskugler og sandet sediment.

FIGUR 3 ELEKTROKEMISK STIMULERET NEDBRYDNING AF PCE I GRADVIST MERE KOMPLEKSE OG REALISTISKE FORURENINGSSYSTEMER.



Forsøgene blev udført i duplikat.
GV: Grundvand.

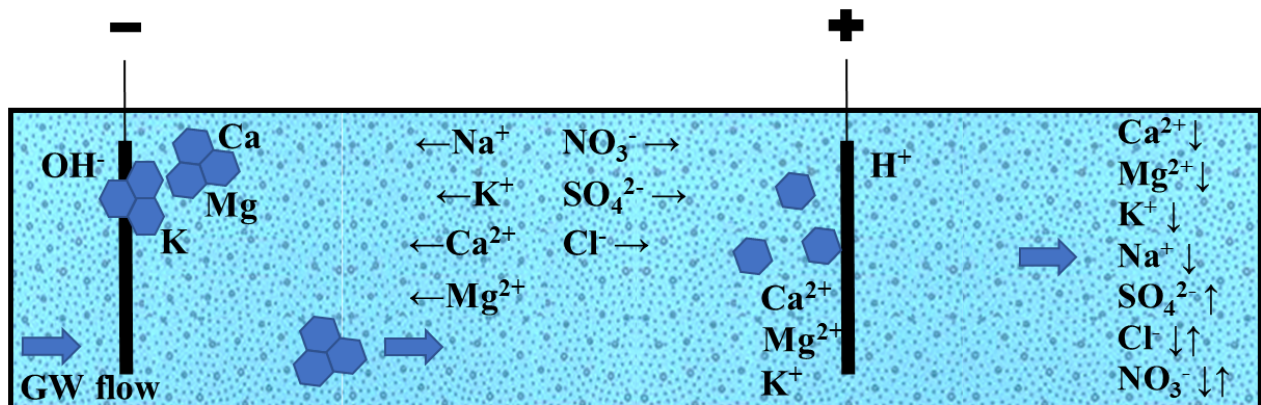
Opnåede forureningsfjernelser med elektrokemi

Arbejdet med at udvikle metoden demonstrerede, at de klorerede opløsningsmidler og disses nedbrydningsprodukter effektivt kunne nedbrydes til koncentrationer under de danske grundvandskvalitetskriterier på 1 µg/l og 0,2 µg/l i de mest komplekse systemer bestående af realistiske grundvandsstrømningshastigheder, oppumpet forurenede grundvand og sandet sediment ved forlænget forsøgsperiode (Figur 3). Da de danske kriterier er blandt de laveste og dermed mest konservative i verden, er dette et lovende resultat. Samtidig viste analyser af udtagne gasser og vandprøver, at moderprodukter såvel som nedbrydningsprodukter af de klorerede opløsningsmidler blev nedbrudt sideløbende i den elektrokemiske zone uden akkumulering af nedbrydningsprodukter. Således var koncentrationen af nedbrydningsprodukter nedstrøms den elektrokemiske zone under detektionsgrænsen. Massebalancerne viste et massetab over systemet på mindre end 3 %, hvoraf afdampning udgjorde under 0,2 %.

Det oppumpede forurenede grundvand indeholdt en bred vifte af naturlige kemiske forbindelser, hvoraf nogle på baggrund af litteraturstudiet ville hæmme nedbrydningen og andre forbedre den. Den observerede nettopåvirkning i dette studie viste, jævnfør Figur 3, en bedre forureningsfjernelse end med syntetisk, simpelt vand. Selvom forsøgene overordnet pegede på en bedre forureningsfjernelse, jo mere komplekst systemet blev, så var resultaterne ikke statistisk signifikante. Dog med undtagelse af forsøgene i det komplekse system med forlænget forsøgstid, der entydigt viste højere effektivitet.

Resultatet er kun et af mange fra erhvervs-ph.d.-samarbejdsprojektet, men det viser, at metoden er blevet modnet og er klar til at blive afprøvet på en forurenede grund. Udover at vise, at elektrokemisk nedbrydning af klorerede opløsningsmidler kan være effektiv, har forskningsprojektet bidraget med ny viden om nedbrydningsprocesser for den undersøgte forureningstype, indflydelsen af naturlige forhold på nedbrydningen, påvirkningen af elektrisk strøm på jord- og grundvandssystemer samt materialeegenskaber i forhold til elektroder¹.

FIGUR 4 SAMMENFATNING AF OBSERVEREDE HYDROGEOKEMISK-RELATEREDE PROCESSER VED ANVENDELSE AF ELEKTROKEMI I FORURENINGSSYSTEMER BESTÅENDE AF NATURLIGT GRUNDVAND OG SANDET SEDIMENT.



Mulig dannelse af kolloider (Ca, Mg, K) ved katoden (-), opløsning af kolloider ved anoden (+), elektromigration af Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , NO_3^- , Cl^- og SO_4^{2-} , samt den overordnede ændring i koncentration ($\downarrow$ fald, $\uparrow$ stigning) nedstrøms den elektrokemiske zone. Den viste elektrodekonfiguration er C-A¹.

Den elektrokemiske metodes påvirkning på miljøet

Den trinvis undersøgelsesstrategi fra simple forureningssystemer mod mere realistiske systemer viste, at der ved anvendelse af elektrokemi i tilstedeværelse af organisk materiale og kloridioner kan dannes kloroform i betydelige mængder nær anoden. I dette tilfælde indeholdt det sandede sediment og det oppumpede grundvand henholdsvis organisk materiale og kloridioner. Akkumulering af kloroform er uensigtsmæssig grundet kloroforms sundhedsskadelige effekter. Dog faldt koncentration af kloroform over tid, hvilket indikerer, at mængden af tilgængeligt organisk materiale i sandet lokalt omkring anoden blev mindsket. Et pilotforsøg med nedgravning af et sammenhængende elektrodegitter på en forurennet grund i USA har vist, at der er risiko for dannelse af kloroform ved høje spændingsforskelle over den elektrokemiske zone, mens kloroform ikke blev dannet ved lavere spændingsforskelle². Erfaringer fra pilotprojektet peger på, at den anvendte strømstyrke i erhvervs-ph.d.-projektet med fordel kunne sænkes, uden at det ville påvirke nedbrydningseffektiviteten.

Lokalt nær elektroderne ændredes pH, ledningsevne og sammensætningen af hydrokemien. Ændringerne var mest udtalte i de simple systemer. For de mere komplekse systemer blev der opretholdt en neutral pH og uændret ledningsevne både opstrøms og nedstrøms den elektrokemiske zone. Ved elektroderne blev det desuden observeret, at visse mineraler blev opløst og andre udfældet ved passage nær katoden, men at processerne var reversible ved anoden (Figur 4) og dermed samlet set kun forårsagede små ændringer i hydrokemien.

Det mikrobielle miljø blev ikke undersøgt, men litteraturen indikerer, at bakterierne overlever i og i visse tilfælde drager fordel af de elektrokemiske zoner^{3,4}. Alt i alt er påvirkningerne ved in situ elektrokemisk rensning mindre invasive end ved andre af de i dag anvendte metoder, f.eks. termisk oprensning eller kemisk oxidation ved injektion af et stærkt oxidationsmiddel i store doser.

En alsidig metode med mange anvendelsesmuligheder

Designet af den elektrokemiske metode er fleksibelt, således at antallet og længden af elektroder installeret i jorden afhænger af den pågældende forurenings udbredelse, ligesom at metodens infrastruktur kan installeres under jordoverfladen. Dette tillader aktiviteter på den forurenede grund at fortsætte uhindret, mens grundvandet renses.

Samtidig kan energikilden til strømforsyningen være helt eller delvist grøn, f.eks. fra vindenergi eller solpaneler. Dette er med til at gøre den elektrokemiske metode til et mere effektivt, bæredygtigt og simpelt alternativ.

Selvom den udviklede elektrokemiske metode i dette projekt blev målrettet nedbrydning af klorerede opløsningsmidler i grundvand, kan den anvendes til andre typer af forureninger, fordi den kombinerer reduktions- og oxidationsprocesser. Det kan f.eks. være oliestoffer ⁵, perfluorerede stoffer ⁶ eller pesticider ⁷. Af disse stofgrupper er det særligt pesticider, grundet fund i mange drikkevandsboringer landet over, samt perfluorerede stoffer udledt fra brandøvelsespladser, der er oppe i den aktuelle debat. Samtidig vil metoden også med fordel kunne anvendes til håndtering af blandingsforureninger, da metoden kan skræddersyes den enkelte forurenings sammensætning ved at tilpasse elektrodekonfigurationen og den tilførte strømstyrke.

Elektrokemisk rensning af forurenede grundvand vil være særligt velegnet i situationer, hvor forureningskilden enten ikke kan spores, eller hvor flere forureningskilder spæder til den samme grundvandsforurening. Når forureningen nærmer sig indvindingsoplandene for drikkevand, vil en sekvens af underjordiske elektroder kunne danne en elektrokemisk barriere på tværs af forureningen, der nedbryder forureningen, efterhånden som den bevæger sig gennem denne og dermed hindre den sundhedsskadelige forureningen i at nå indvindingsboringerne.

Referencer

- /1/ Hyldegaard, B. H. Electrochemical Zone for Degradation of Chlorinated Ethenes in Aquifers, Industrial PhD thesis, R-424, Technical University of Denmark, 2020. <https://doi.org/87-7877-522-1>.
 - /2/ Sale, T.; Petersen, M. A.; Gilbert, D. *Electrically Induced Redox Barriers for Treatment of Groundwater*; Colorado, USA, 2005.
 - /3/ Lohner, S. T.; Becker, D.; Mangold, K. M.; Tiehm, A. Sequential Reductive and Oxidative Biodegradation of Chloroethenes Stimulated in a Coupled Bioelectro-Process. *Environ. Sci. Technol.* **2011**, 45 (15), 6491–6497. <https://doi.org/10.1021/es200801r>.
 - /4/ Tiehm, A.; Lohner, S. T.; Augenstein, T. Effects of Direct Electric Current and Electrode Reactions on Vinyl Chloride Degrading Microorganisms. *Electrochim. Acta* **2009**, 54 (12), 3453–3459. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2009.01.002>.
 - /5/ Lei, Y.; Zhao, G.; Zhang, Y.; Liu, M.; Liu, L.; Lv, B.; Gao, J. Highly Efficient and Mild Electrochemical Incineration: Mechanism and Kinetic Process of Refractory Aromatic Hydrocarbon Pollutants on Superhydrophobic PbO₂ Anode. *Environ. Sci. Technol.* **2010**, 44 (20), 7921–7927. <https://doi.org/10.1021/es101693h>.
 - /6/ Schaefer, C. E.; Andaya, C.; Urtiaga, A.; McKenzie, E. R.; Higgins, C. P. Electrochemical Treatment of Perfluorooctanoic Acid (PFOA) and Perfluorooctane Sulfonic Acid (PFOS) in Groundwater Impacted by Aqueous Film Forming Foams (AFFFs). *J. Hazard. Mater.* **2015**, 295, 170–175. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2015.04.024>.
 - /7/ Guivarch, E.; Oturan, N.; Oturan, M. A. Removal of Organophosphorus Pesticides from Water by Electrogenerated Fenton's Reagent. *Environ. Chem. Lett.* **2003**, 1 (3), 165–168. <https://doi.org/10.1007/s10311-003-0029-4>.
-



Naturlige kulbrinter i overfladevandsprøver

Foto: Naja Bertolt Jensen

Af Andreas Houlberg
Kristensen, Laura Engsig
Karlsson, Per Loll og
Claus Larsen, Dansk
Miljørådgivning A/S
og Helle Larson,
Region Midtjylland

DMR har foretaget en indledende undersøgelse, der tyder på, at naturligt forekommende kulbrinter i sediment kan påvirke analyseresultater for overliggende overfladevand. Påvirkningen vurderes at være størst ved lav vanddybde og lav vandføring, hvor kontakten mellem overfladevand og sediment kan være stor. Det anbefales at inddrage den nye viden ved undersøgelser i mindre vandløb.

Baggrund

Danske Regioner påbegyndte i 2021 undersøgelser af målsat overfladevand, hvor en indledende screening af påvirkning fra forurenede lokaliteter havde påvist en potentiel risiko. Overfladevand defineres i denne sammenhæng som vandløb, søer, kyster og havne.

Flertallet af lokaliteterne omfattede vandløb, der som udgangspunkt blev undersøgt ved udtagning af vandprøver fra vandløbet ved den lavest mulige vandføring. Dette er typisk i sommerperioden, men kan i praksis være vanskeligt at vide på forhånd. Ved at udtage vandprøverne ved lav vandføring er tanken, at man reducerer betydningen af fortynding i perioder med meget nedbør og stor tilstrømning.

De fleste af de udvalgte vandløb blev betegnet "type 1-vandløb", der henviser til vandløb med en bredde under 2 m og en medianminimumsvandføring under 10 l/s. Der var altså tale om relativt små vandløb, hvor man forventede den mindste fortynding og dermed beregningsmæssigt den højeste risiko.

Kombinationen af mindre vandløb og målinger i perioder med lav vandføring betød, at flere vandløb havde stillestående vand, eller at vandføringen var så lav, at man reelt ikke kunne måle den. Ligeledes var vandstanden ofte under 5 cm. Typisk kunne de undersøgte vandløb bedst karakteriseres som "bække" og "grøfter" – eller endda i nogle tilfælde "vandpytter" og "mudderhuller".

I sådanne vandløb viste flere af DMR's undersøgelser indhold af kulbrinter, som i forbindelse med afrapporteringen blev vurderet ikke at stamme fra kilder på de kortlagte grunde. I stedet var hypotesen, at en lang opholdstid i vandløbet og stor kontaktflade med sedimentet medførte et målbart indhold af naturlige kulbrinter i vandfasen. Desuden er der ved udtagning af vandprøver ved lav vandstand øget risiko for at medtage sediment, blade eller andet organisk materiale i prøveflaskerne. Organisk materiale i vandprøverne blev vurderet muligvis at medføre en risiko for naturlige kulbrinter, der kunne påvirke de kemiske analyser for kulbrinter.

Formål

Formålet med den udførte undersøgelse var at besvare følgende spørgsmål:

1. Kan ikke-forurenat sediment være årsag til et indhold af kulbrinter i vandprøver udtaget i stillestående vand eller i vandløb med begrænset vandføring og vandstand?
2. Kan blade, grannåle og andet organisk materiale være årsag til indhold af kulbrinter i vandprøver?

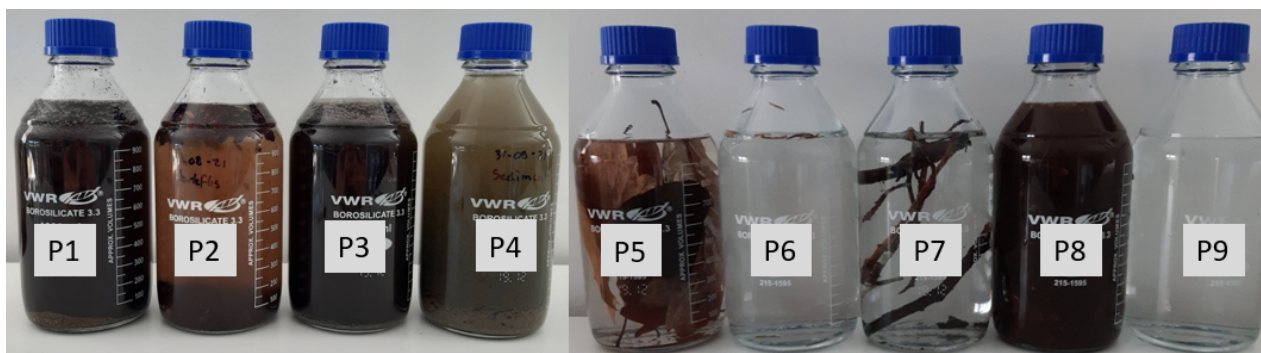
Udførte undersøgelser

Til at besvare de to spørgsmål blev der indsamlet otte prøver bestående af henholdsvis to sedimentprøver og forskellige former for organisk materiale. Prøvematerialerne blev tilsat ca. 1 liter postevand. Flaskerne blev lukket og opbevaret ved stuetemperatur. Derefter blev flaskerne rystet ca. 1 minut dagligt over tre dage, hvorefter væskefasen blev dekanteret over i en glasflaske. Dekanteringen blev foretaget, som analyselaboratoriet ville gøre, hvis der var sediment eller flydende materiale i vandprøven – dvs. efter bundfældning og manuel fjernelse af blade mv. Der blev desuden analyseret en referenceprøve med postevand uden tilsat organisk materiale. Prøverne blev analyseret af ALS for kulbrinter og BTEXN.

TABEL 1 PRØVEOVERSIGT.

Prøve	Beskrivelse	Mængde
P1	Pottemuld – naturgødet jord tilsat leca og sand.	200 ml/63 g + 1 l postevand
P2	Barkflis	200 ml/65 g + 1 l postevand
P3	Spagnum (fin) – opgravet tørv	200 ml/83 g + 1 l postevand
P4	Sediment fra en skovsø med sandbund. Primært nåletræer omkring søen.	200 ml/304 g + 0,925 l postevand
P5	Visne blade	10 stk. + 1 l postevand
P6	Grannåle	30 stk. + 1 l postevand
P7	Kviste	5 stk. + 1 l postevand
P8	Sediment fra grøft uden vandføring i skov/naturområde ud mod en større sø. Blandet vegetation omkring søen.	400 ml/200 g + 0,6 l postevand
P9	Referenceprøve	1 l postevand

FIGUR 1 PRØVER EFTER UDRYSTNING.



Resultater

De tilførte materialer afgav i varierende grad farve til vandfasen. Misfarvningen vurderes at skyldes især humus, men kan også skyldes mineraler. Farveafgivelsen var tydeligst for spagnum (P3), sediment fra en afvandingsgrøft i et skovområde (P8) samt pottemuld (P1). Lidt overraskende blev prøven med få visne blade også tydeligt misfarvet. Der var svag farveafgivelse i prøverne med barkflis (P2) og sediment fra en skovsø med sandbund (P4), mens farveafgivelsen var næsten fraværende i prøverne med grannåle (P6) og mindre kviste (P7).

FIGUR 2 PRØVER EFTER DEKANTERING TIL PRØVEFLASKER FRA LABORATORIET.



TABEL 2 ANALYSERESULTATER FOR VANDPRØVER I µG/L. I.P.: IKKE PÅVIST. I.F.: DER ER IKKE FASTSAT KRITERIER.

Prøve	BTEXN	C6-C10	>C10-C15	>C15-C20	>C20-C35	Totalindhold af kulbrinter
P1	i.p.	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	i.p.
P2	0,21 (toluen)	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	i.p.
P3	i.p.	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	i.p.
P4	i.p.	<5,0	<5,0	20	100	120
P5	i.p.	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	i.p.
P6	i.p.	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	i.p.
P7	i.p.	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	i.p.
P8	i.p.	<5,0	<5,0	6,0	130	140
P9	i.p.	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	i.p.
Kvalitetskriterium, ferskvand	I.f.	I.f.	I.f.	I.f.	I.f.	9

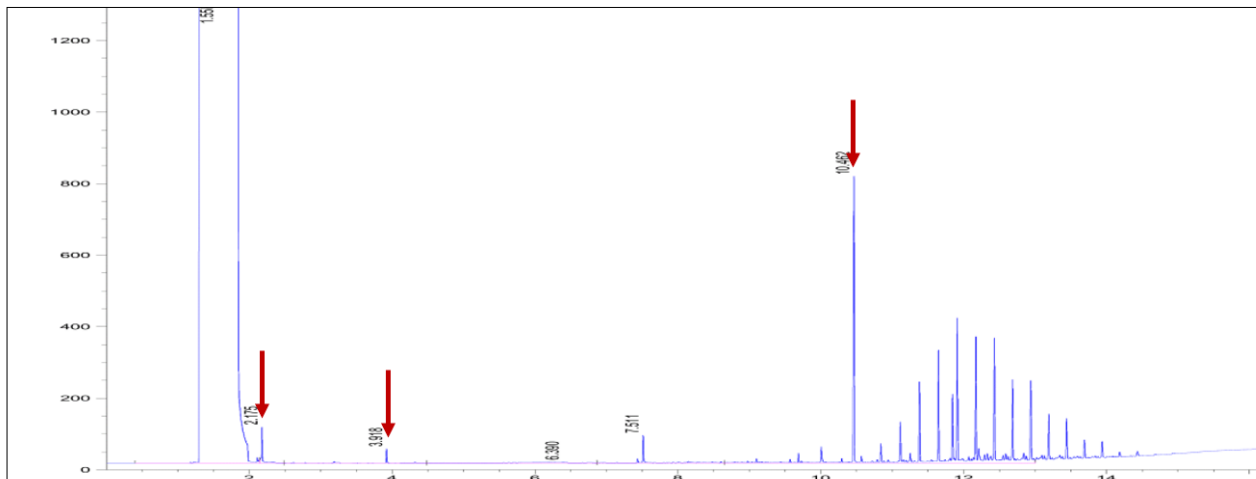


Overskridelse af Miljøstyrelsens kvalitetskriterium for ferskvand, der for totalindhold af kulbrinter er baseret på grundvandskvalitetskriteriet.

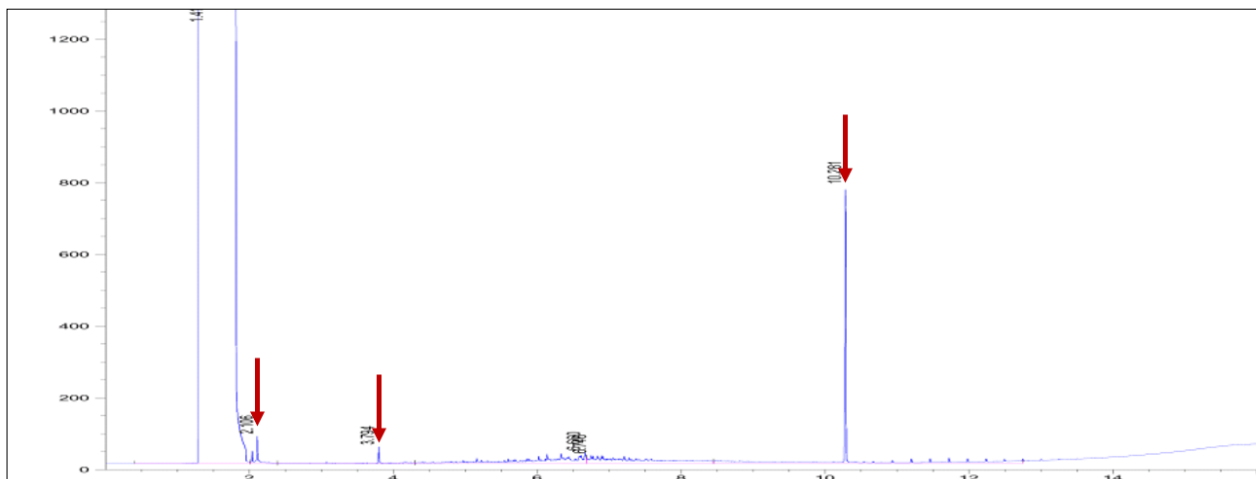
Farveafgivelsen korrelerede ikke med resultatet af kemisk analyse for kulbrinter, inkl. BTEX. Eksempelvis blev der ikke påvist indhold over detektionsgrænsen i de farvede prøver P1, P3 og P5. Der blev påvist et mindre indhold af toluen i prøven med barkflis (P2), mens der blev påvist totalindhold af kulbrinter i de to sedimentprøver (P4 og P8) på hhv. 120 og 140 µg/l.

Af de påviste kulbrinter i P4 og P8 udgjorde den tunge fraktion (C₂₀-C₃₅) ca. 80-90 % af totalindholdet. De to sedimentprøver, fra to meget forskellige typer overfladevand, gav således en koncentration og sammensætning af kulbrinter, der var sammenlignelig. Analyselaboratoriet anførte for begge sedimentprøver (P4 og P8), at de påviste kulbrinter havde et kogepunktinterval på 300-500°C og ikke kunne henføres til et kendt olie- eller tjæreprodukt. Analyselaboratoriet har desuden oplyst, at de ud fra kromatogrammet vurderer, at der er tale om naturlige kulbrinter.

FIGUR 3 CHROMATOGRAM FOR KEMISK ANALYSE AF VANDPRØVEN P8 MED TOTALINDHOLD AF KULBRINTER PÅ 140 µG/L. INTERNE STANDARDER ER MARKERET MED RØDE PILE.



FIGUR 4 EKSEMPEL PÅ ET CHROMATOGRAM FRA EN VANDPRØVE MED TOTALINDHOLD AF KULBRINTER PÅ 160 µG/L KARAKTERISERET SOM NEDBRUDT BENZIN ELLER GASOLIE. INTERNE STANDARDER ER MARKERET MED RØDE PILE.



Figur 3 viser kromatogrammet for P8. Til sammenligning viser figur 4 et eksempel på et kromatogram for nedbrudt olie/benzin. Kromatogrammet for P8 viser en række tydelige toppe efter den sidste interne standard, mens kromatogrammet i figur 4 viser et stort antal mindre toppe.

Diskussion og konklusion

Selvom der er tale om en simpel undersøgelse med et begrænset analyse- og datagrundlag, så vurderes det, at resultaterne giver et foreløbigt svar på de to spørgsmål, der blev stillet i indledningen:

- Resultaterne indikerer, at der kan ske afsmitning af naturlige kulbrinter fra ikke-forurenet sediment til overfladevand.
- Indhold af organisk stof i vandfasen tilfører ikke nødvendigvis naturlige kulbrinter til vandfasen, som påvises ved kulbrinteanalysen. I dette forsøg fortalte misfarvningen af vandfasen fra organisk stof desuden ikke noget om indholdet af naturlige kulbrinter påvist ved analysen.

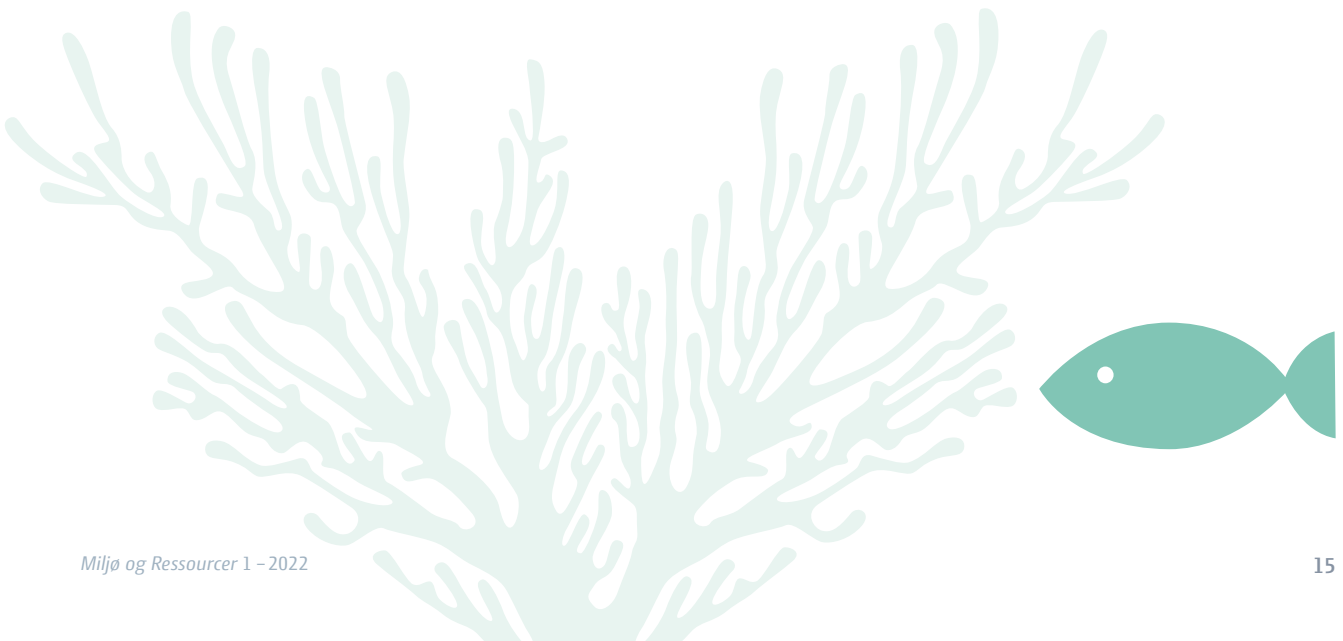
På baggrund af resultaterne vurderes der at være risiko for, at kulbrinteanalyser af overfladevand kan være påvirket af sediment. Risikoen vurderes at være størst ved stillestående vand eller ved meget lav vandstand, hvor påvirkningen fra sedimentet vil være størst som følge af hhv. lang opholdstid og stort kontaktareal med sediment.

Florisiloprensning af prøverne kan være en måde at reducere betydningen af naturlige kulbrinter fra organisk materiale i sediment og overfladevand. Det er dog velkendt, at florisiloprensning af vandprøver udover fedt og naturlige olier kan reducere indholdet af f.eks. benzin, BTEXN, chlorerede opløsningsmidler og PAH'er /1/. Ved regionernes overfladevandsundersøgelser er det valgt ikke at udføre florisiloprensning af overfladevandsprøver, men kun i sediment- og jordprøver, hvor forekomsten af naturlige kulbrinter forventes at være højere end i vandfasen.

Generelt er der dog behov for mere viden om, hvordan naturlige kulbrinter kan påvirke kemiske analyser, og hvordan vi evt. stadig kan få retvisende resultater til den videre sagsbehandling.

Referencer

/1/ Per Loll – Status TUP kloakker, 9. april 2019.



Ny medarbejder i VMR

Simon Martin Spangenberg Bastrup er pr. 5. januar 2022 ansat som studentermedhjælp i VMR.

Simon er 27 år, og han er startet på sin kandidat til miljøingeniør på DTU/Miljøteknologi med speciale i grundvand og urban vandforsyning.

I VMR skal Simon bl.a. arbejde med pesticiddata, hjemmesider, kurser og vidensopsamling.



27.-28. SEPTEMBER 2022

RÅSTOF- ÅRSMØDE

**Scandic Copenhagen,
Vester Søgade 6, 1601 København V**

Årets Råstofårsmøde har fokus på tilgange til at strække de ikke-fornybare råstoffer. Vi ser på barrierer og udforsker muligheder for en bedre ressourceudnyttelse.

Årsmødet kommer også til at handle om presset på arealer til råstofindvinding og andre planformål, og om hvordan vi udvikler de afsluttede råstofgrave, så de kan få en ny anvendelse og fremme biodiversitet over tid.

Tilmelding til Råstofårsmøde 2022 åbner i maj.



OPDATERING AF METODE TIL SKELNEN MELLEM PESTICIDKILDER

Af Sandra Roost,
Katerina Tsitonaki og
Anna Krog Nielsen, WSP,
Poul L. Bjerg, Klaus Mosthaf
og Annika Sidelmann
Fjordbøge, DTU Miljø og
Anders Risbjerg Johnsen
og Lærke Thorling, GEUS

Grundvandsovervågningen og regionernes forureningsundersøgelser viser i dag fund af stoffer, som ikke var en del af analysepakkerne i 2013 (bl.a. DPC og DMS). Derfor indgik disse stoffer ikke i forbindelse med udvikling af en metode til at skelne, hvorvidt fund med pesticider kunne henføres til en punktkilde eller en fladekilde. Derfor har der været behov for en videreudvikling af metoden, så den kan anvendes fremadrettet på de stoffer, der nu er de hyppigst forekomne i grundvand i Danmark.

Baggrund og formål

Fund af pesticider i grundvandet udgør et problem for grundvandsressourcen og er en hyppig årsag til lukning af vandforsyningsboringer. Pesticider i grundvandet kan enten stamme fra fladekilder eller punktkilder, hvilket har stor betydning for relevante handlemuligheder, og hvilke myndigheder der skal handle. Regionernes indsats er rettet mod punktkilder, og derfor er det vigtigt at kunne skelne mellem en punktkilde eller en fladebelastning fra f.eks. regelret anvendelse på de omkringliggende marker.

I 2013 blev der udviklet metoder med 11 indikatorer, som gjorde det muligt at skelne mellem pesticidkilder (Miljøprojekt 1502). Anvendelsen af indikatorerne er blevet et vigtigt redskab i regionernes planlægning af deres pesticidindsats. De er også anvendt af en række andre aktører, herunder vandforsyninger og kommuner.

Der har været væsentlige ændringer i omfanget af analysepakkerne i forbindelse med regionernes forureningsundersøgelser, boringskontrollen og grundvandsovervågningen. Der konstateres nu en række pesticider, som ikke indgik i projektet fra 2013. En del af disse pesticider konstateres nu hyppigere og i højere koncentration, end nogen pesticider tidligere har gjort. Indikatorerne fra 2013 kan således ikke længere anvendes på det grundlag, de blev identificeret på. Der er derfor behov for indikatorer, der bygger på den nye situation.

Projekts formål har derfor været at opdatere og videreudvikle metoden til skelnen mellem pesticidkilder, som er beskrevet i Miljøprojekt 1502 fra 2013. Projektet har justeret nogle af de tidligere indikatorer samt suppleret med nye indikatorer og input. Derudover har formålet været, at metoden skal kunne anvendes fremadrettet på de pesticider, som er dominerende i grundvandet i dag.

Projektet er udført som et samarbejde mellem WSP, DTU Miljø, GEUS, de fem regioner, Miljøstyrelsen og Regionernes Videncenter for Miljø og Ressourcer under Miljøstyrelsens teknologiudviklingsprogram. Herudover har der været input fra InSa Drikkevand, som repræsenterer flere af de større forsyninger i Danmark.

Processen og grundlaget i projektet

Projektet bygger på en række aktiviteter, som har bidraget med input til revurdering af de eksisterende indikatorer samt udpegning af nye indikatorer. Der er fokuseret på stoffer, som ofte konstateres i grundvandsovervågningen og/eller i forbindelse med regionernes undersøgelser. I hovedrapporten er der udarbejdet et detaljeret appendiks for hver af delaktiviteterne, som udgør baggrunden for de udpegede indikatorer i rapporten.

Anvendelse af indikatorerne

Indikatorerne anvendes på fund i indvindingsboringer, hvor der foregår en aktiv indvinding. De kan i visse situationer også anvendes på andre boringer med en overordnet jævn drift fra et betydende grundvandsmagasin. Det kan være afværgeboringer



- **Gennemgang af salgsmængder, anvendelse og fysiske-kemiske egenskaber**
Der blev i alt udvalgt 23 stoffer, hvor der er foretaget en gennemgang af salgsmængder af moderstofferne, udviklingen i anvendelsen af stofferne i landbruget, det private og det offentlige samt fund i udvalgte europæiske lande. Derudover er der foretaget gennemgang af de fysiske-kemiske egenskaber for disse stoffer.
- **Prøvetagning af LOOP-indtag**
Der er i forbindelse med projektet udført prøvetagning af 51 LOOP-indtag med henblik på at supplere det eksisterende datagrundlag. Det er Miljøstyrelsen, der har stået for prøvetagningen, som blev udført i marts 2021. Prøverne blev analyseret efter den analysepakke, som regionerne anvender i forbindelse med deres forureningsundersøgelser.
- **Statistisk bearbejdning**
Datagrundlaget for den statistiske bearbejdning omfatter flere stoffer end i de øvrige delaktiviteter.

Der er medtaget stoffer, hvor der var tilstrækkelige data til at sikre et robust grundlag til den statistiske bearbejdning. Der har i alt været inddraget 66 forskellige stoffer, inkl. nedbrydningsprodukter.

- **Scenariemodellering**
Der er forud for scenariemodelleringerne foretaget en gennemgang af mulige inputfunktioner og -koncentrationer. Dette har resulteret i, at 16 stoffer, inkl. nedbrydningsprodukter, er udvalgt til modelkørslerne. Formålet har været at teste, hvordan gennembrudskurver til monitoringsboringer og indvindingsboringer ser ud for hhv. punkt- og fladekilder.
- **Test af indikatorerne på cases**
Til at understøtte de udpegede indikatorer er der foretaget en detaljeret gennemgang af 13 forskellige cases, som repræsenterer fund, der kan henføres til punkt- og fladekilder.

og i visse tilfælde markvandingsboringer. Indikatorerne kan ikke anvendes på monitoringsboringer eller boringer i forbindelse med forureningsundersøgelser, medmindre det er angivet specifikt under den enkelte indikator.

Der ligger meget databearbejdning og scenariemodellering til grund for udpegning af indikatorerne. Det er vigtigt at understrege, at der er tale om *indikatorer*. Det er dermed ikke det fulde svar på, om et fund skyldes en flade- og/eller en punktkilde. Det har været målet at gøre indikatorerne simple at bruge, hvilket også betyder, at der i nogle situationer er truffet valg, hvor der er gået på kompromis med detaljerne i databearbejdningen og scenariemodelleringen.

Det er regionerne og kommunerne, der spiller den største rolle i forbindelse med opsporing og håndtering af pesticidkilder. Regionerne skal her som udgangspunkt kun varetage opsporingen, medmindre der er tydelig indikation på, at fund kan henføres til en fladekilde og dermed ikke omfattes af jordforureningsloven. Derfor er der i forbindelse med at gøre indikatorerne så operationelle som muligt valgt at vægte eventuelle usikkerheder, således at der i større omfang vil peges på, at pesticiderne kunne stamme fra en punktkilde, end det egentligt er tilfældet.

Der er i alt udpeget 10 indikatorer. Der er i oversigten ikke et facit ud for hver indikator, som peger enten mod en punktkilde eller en fladekilde, da det er vigtigt, at der tages højde for forudsætninger og forbehold for indikatorerne. Der er derfor tilknyttet supplerende overvejelser til de enkelte indikatorer, som skal inddrages i vurdering af fund. Situationen omkring nogle af de hyppigst fundne pesticidstoffer i bl.a. grundvandsovervågningen, DMS og DPC, viser, at der kan være særlig komplicerende faktorer, der bør overvejes, når fund med disse stoffer skal vurderes. Disse faktorer er beskrevet hver for sig og bør inddrages, når der konstateres fund med DMS og DPC i landbrugsområder.

Indikatorer anno 2022

1	Tilstedeværelse af mange stoffer (mindst 5 stoffer over detektionsgrænsen og/eller mindst tre stoffer over Miljøstyrelsens grundvandskvalitetskriterie)
2	Fund i høje koncentrationer (mindst et stof $> 1 \mu\text{g/l}$) i en indvindingsboring, dog $> 3 \mu\text{g/l}$ for DMS og DPC
3	Lave koncentrationer, hvor alle enkelte stoffer er under $0,05 \mu\text{g/l}$ (gælder ikke DMS og DPC) i en indvindingsboring
4	Tilstedeværelse af et eller flere moderstoffer (dog ikke bentazon) i en indvindingsboring
5	Nærliggende indvindingsboringer med sammenlignelige pumpeydeler og indvindingsdybde er påvirket med meget forskellige ($>0,5$ størrelsesorden) koncentrationsniveauer
6	Samme stof genfindes i varierende koncentrationer i en indvindingsboring
7	Variation i hvilke specifikke stoffer, der optræder over tid i en indvindingsboring
8	Flere fund af phenoxysyrer og deres nedbrydningsprodukter i koncentrationer over $0,1 \mu\text{g/l}$ (dog ikke chlorphenoler) i en indvindingsboring
9	Fund af DMS i en indvindingsboring i område uden landbrugsmæssig anvendelse
10	BAM og DMS påvises i samme boring beliggende nær bebyggede områder i lave koncentrationer, eller der påvises DMS i en boring der tidligere har været påvirket af BAM
Faktorer til vurdering af fund af DMS i landbrugsområder	
Faktorer til vurdering af fund af DPC i landbrugsområder	

Komplicerende faktorer for DMS og DPC

Den statistiske bearbejdning af data og scenariemodellerne viser, at koncentrationen af DMS og DPC fra en fladekilde kan være på et niveau med koncentrationer fra en punktkilde. Det betyder, at det ikke er muligt at skelne bidraget fra den enkelte kildetype i forhold til den påviste koncentration i en indvindingsboring. I nærheden af de dyrkede marker vil der være en landbrugsbedrift, gartneri eller andet, som har håndteret pesticiderne. Her vil der ofte være en potentiel punktkilde (f.eks. påfyldnings- og vaskeplads).



Dyrkning af bær og frugt udgør kun en mindre del i forhold til de samlede dyrkede arealer i Danmark. Det drejer sig om ca. 1 % af de dyrkede arealer i Danmark, som er bær- og frugtavl. Udviklingen af dyrkede arealer med frugt og bær i Danmark har kun ændret sig en smule igennem årene. Når der konstateres fund af DMS i en indvindingsboring i et område, hvor der har været dyrket afgrøder med anvendelse af moderstof-fet tolylfluanid, kan det være vanskeligt at vurdere, hvorvidt det skyldes en fladekilde og/eller en punktkilde. Prøvetagning af LOOP-indtag i en frugtplantage i 2021 viste fx en DMS-koncentration på 2,4 µg/l 14 år efter, at salget af tolylfluanid ophørte. Bidraget fra jordbærmarker kan have være endnu højere. Arealet af en jordbærmark er ofte mindre end arealer, hvor der f.eks. dyrkes kornafgrøder, men dyrkningen har været mere intens. Dyrkning af jordbærmarker sker samme sted i 3 år, hvorefter dyrkningen flyttes til andre arealer, og man vender ofte tilbage, når der er gået 5 til 6 år uden jordbær. Frugtplantager er typisk placeret det samme sted i en længere årrække.

Moderproduktet til DPC, chloridazon, har primært været anvendt til ukrudtsbekæmpelse ved dyrkning af roer, løg (spise- og blomsterløg) og rødbeder. Ifølge Miljøprojekt 2172 viser interviews med landmænd og landbrugskonsulenter, at midler med chloridazon (Pyramin) bl.a. blev anvendt ved såning af roer, således at roerne ikke fik konkurrence af ukrudt ved spiring. Det oplyses desuden, at midlerne ikke var særlig effektive, og at de i stor udstrækning blev erstattet af midler med aktivstoffet metatitron, som var mere bredspektret i forhold til bekæmpelse af ukrudt.

Når der konstateres fund af DPC i en indvindingsboring i et område, hvor der bl.a. har været anvendt chloridazon i forbindelse med dyrkning af roer, kan det være vanskeligt at vurdere, hvorvidt det skyldes en fladekilde og/eller en punktkilde. Den regelrette anvendelse af chloridazon, anvendt i forbindelse med dyrkning af roer frem til 1996, kan forårsage højere input-koncentrationer end mere traditionelle fladekilder. Prøvetagning af LOOP-indtag i 2021 viste således DPC-fund op til 2,7 µg/l 25 år efter, at salget af chloridazon ophørte. DPC er det stof, der oftest konstateres i forbindelse med regionernes punktkildeundersøgelser og i forbindelse med LOOP-prøvetagningen i 2021.

Eksempler

Omø Vandværk

Indvindingsboring, DGU nr. 219.170, på Omø er beliggende i et sommerhusområde. Boringen har frem til 2014 været påvirket med lave indhold af BAM, som er aftaget. I boringen påvises der nu DMS på op til 0,2 µg/l samt spor af DPC. Boringen er placeret i et område, hvor der kan have været anvendt træbeskyttelse indeholdende moderstoffer til DMS (bl.a. dichlofluanid) samt dyrket nærtliggende marker med moderstoffer til DMS (bl.a. tolylfluamid). På baggrund af *indikator 10*, vurderes fund med DMS i 219.170 at kunne henføres til en fladekilde. I området har der været dyrket roer, hvor man kan have anvendt moderstoffet, chloridazon. De *komplicerende faktorer* viser, at det kan være vanskeligt at vurdere, hvorvidt det skyldes en fladekilde og/eller en punktkilde.

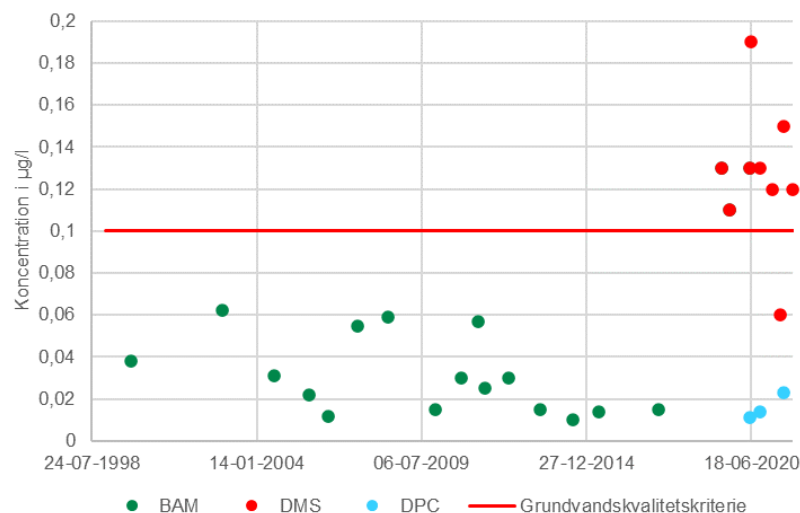
Region Sjælland har foretaget en opsporing af potentielle lokaliteter og undersøgelser af potentielle punktkilder. På baggrund af undersøgelserne er der en rimelig sikkerhed for, at der ikke findes en punktkilde, der kan være årsag til fundene i indvindingsboringen. Derfor vurderes fund af BAM, DMS og DPC at kunne henføres til en *fladepåvirkning* fra sommerhusområdet og/eller de omkringliggende marker.

Marbæk Kildeplads

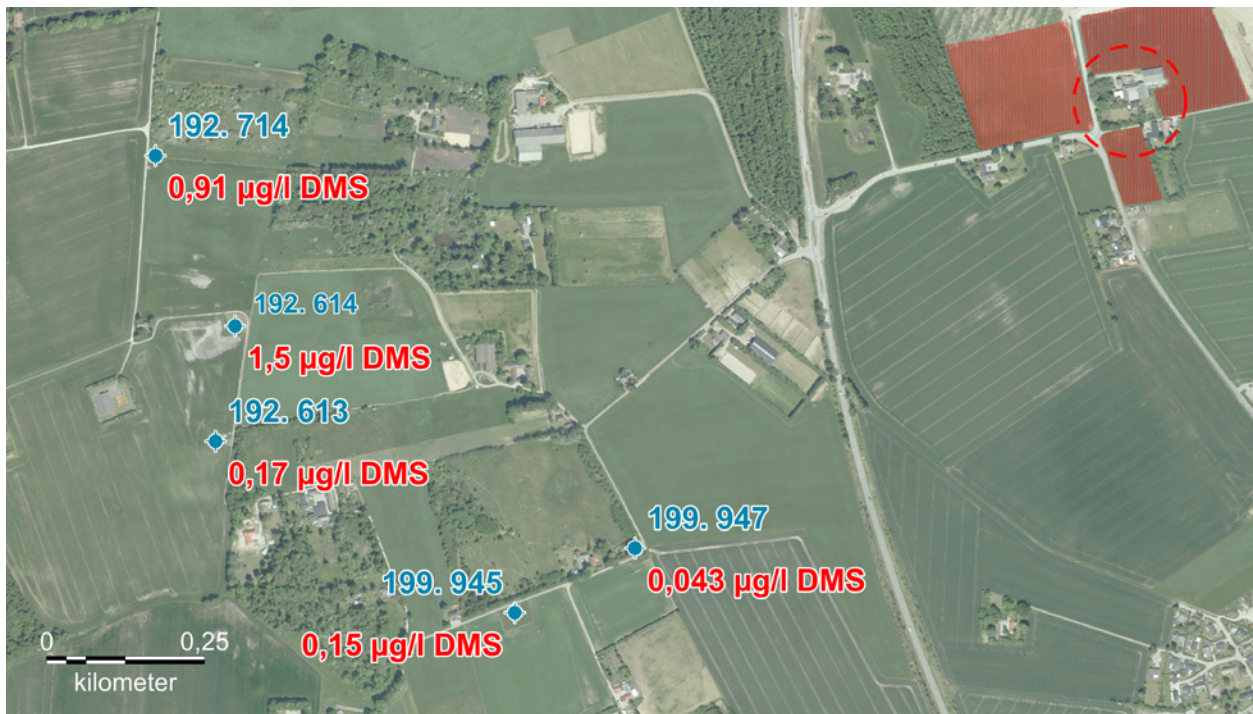
NOVAFOS har, siden DMS blev inkluderet i analysepakken for drikkevandskvalitet i 2018, påvist DMS i flere indvindingsboringer tilknyttet Marbæk og Marbæk Nord Kildepladser. Oplandet til Marbæk Kildeplads er præget af gartnerier og frilandsdyrkning af bær, især jordbær, og området er ikke særligt præget af træbygninger. For hovedparten af boringerne gælder det, at man kun finder DMS og ikke andre pesticider foruden BAM i enkelte boringer. På baggrund af *indikator 5* peger fundene på en punktkilde, da den horisontale variation i indhold af DMS mellem indvindingsboringerne betragtes som relativ stor.

Regionen har derfor udført indledende forureningsundersøgelser og konstateret, at der både findes en kilde til DMS ved en nuværende jordbærplantage (røde felter i Figur 2). Derudover er der også fundet en punktkildeforurening med DMS og andre pesticider/nedbrydningsprodukter ved en tidligere maskinstation (stiplet rød markering i Figur 2).

FIGUR 1 FUND VED OMØVÆRK.



FIGUR 2 FUND VED MARBÆK KILDEPLADS.



De komplicerende faktorer viser, at den regelrette anvendelse af moderstoffet til DMS kan forårsage højere input koncentrationer end mere traditionelle fladekilder. Ved jordbærmarken er der påvist høje koncentrationer af DMS, som kan give en forureningsflux, der kan forklare indholdet af DMS i de nærliggende indvindingsboringer. Derfor viser erfaringer fra bl.a. Marbæk, at aftrykket fra en jordbærmark kan have samme koncentrationsniveauer, som der konstateres ved typiske punktkilder. Det er fortsat usikkert, hvorvidt fund af DMS kan henføres til en *punktkilde og/eller fladekilde*.

Konklusion

Der er i projektet udpeget 10 indikatorer, som kan anvendes til at vurdere, hvorvidt fund med pesticider kan henføres til en punktkilde eller fladekilde. Situationen omkring bl.a. DMS og DPC, viser, at der kan være særlig komplicerende faktorer, der bør overvejes, når fund med disse stoffer skal vurderes, og som ikke kan defineres ved en indikator.

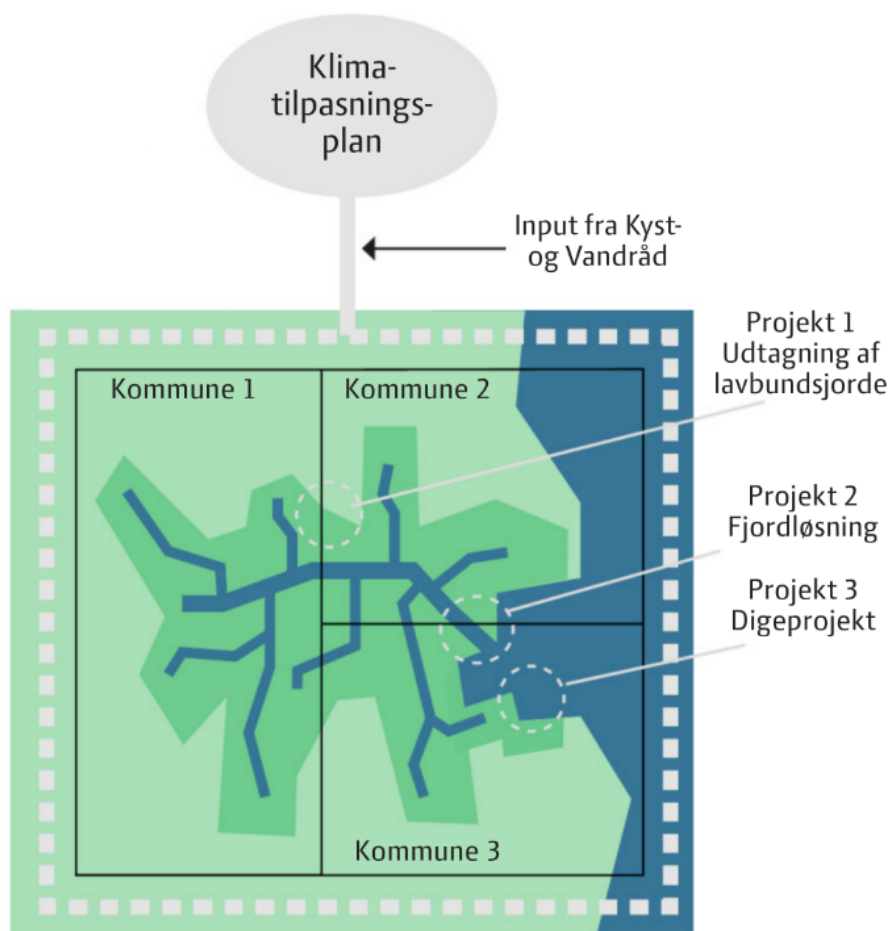
Indikatorerne er ikke ligesom i 2013 illustreret som en "ja-nej-test" i et flowdiagram. Det skyldes blandt andet, at kontrasten i data for punktkilder og fladekilder ikke har været så tydelige som tidligere. Indikatorerne er i stedet suppleret med en række overvejelser, som skal inddrages, når et fund skal vurderes i forhold til en punktkilde eller fladekilde. Det betyder også, at der er valgt at vægte eventuelle usikkerheder således, at der i større omfang vil peges på, at pesticiderne kunne stamme fra en punktkilde, end det egentligt er tilfældet.

Grundlaget, anvendelsen samt tilhørende eksempler og cases er beskrevet i en samlet rapport med appendiks, som udgives i marts 2022. Samtidig hermed udarbejdes der en pixiudgave af projektet, som bl.a. vil fungere som et opslagsværk, når man skal vurdere fund i en indvindingsboring.

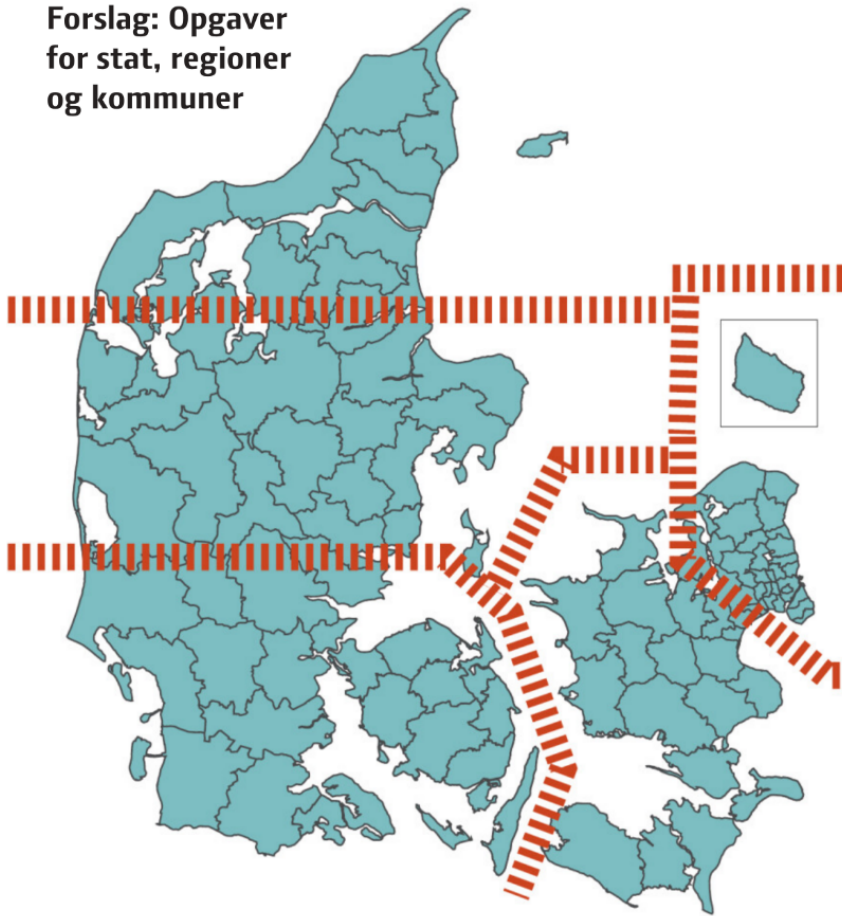
Regionale anbefalinger til klimatilpasning

Der skal forhandles en national klimatilpasningsplan i første halvår af 2022. Danske Regioner har lanceret syv anbefalinger som et indspil til den.

Af Christian Andersen,
VMR



Forslag: Opgaver for stat, regioner og kommuner



STAT

- Definere vandoplande og kyststrækninger
- Fastsætte klimascenarier
- Fastlægge planlægningshorisonter
- Udpege nationale interesser
- Samle og udstille data

REGION

- Samle planlægning
- Prioritere indsatser
- Etablere partnerskaber
- Fastsætte bidragsfordelinger
- Samle finansieringskilder til projekters økonomi

KOMMUNE

- Bidrage til planlægning
- Sikre lokal implementering
- Sikre lokal inddragelse
- Koble til lokale planer og udvikling

Der er bred enighed om, at en styrket indsats for klimatilpasning er en nødvendighed, og at vi ikke er forberedt til at håndtere de oversvømmelser, der indfinder sig stadigt oftere. Derfor aftalte Folketingets partier i november 2020, at der skulle laves en national klimatilpasningsplan, og at denne skulle forhandles i starten af 2022. Ordet "plan" er måske i denne sammenhæng noget vidtløftig, fordi en plan, som vi normalt tænker det, har et langt større detaljeringsniveau end det, som vi kan forvente kommer ud af de politiske forhandlinger. Man kan håbe på et lovgivningsgrundlag, der sikrer en tilbagevendende risikoafdækning og prioritering af klimatilpasningsindsatsen. Noget vi ikke har i dag. Regionerne foreslår, at omdrejningspunktet bliver regionale klimatilpasningsplaner.

Ansaret for at sikre sig mod klimaforandringerne ligger i dag hos den enkelte grundejer, men udfordringerne vokser, og der er fremover behov for flere fælles løsninger i samlede vandoplande og for hele kyststrækninger. Kommunerne er som plan- og vandmyndighed ladet alene med den utaknemmelige opgave at gennemtvinge borgerbetalte projekter – eller at prioritere opgaven op mod

andre, ofte mere kortsigtede prioriteter. Hvis vi skal lykkes med at klimasikre Danmark, skal både staten, regionerne og kommunerne arbejde sammen. På landsplan bør vi være enige om, hvilke scenarier og tidshorisonter vi vil risikoafdække og planlægge for. Men værdikortlægningen, prioritering og hvordan man vælger at sikre sig, løses bedst på et regionalt-kommunalt niveau.

Klimatilpasning opleves ofte lokalt, men løsningen skal tænkes samlet – for et samlet vandopland og for en sammenhængende kyststrækning. Det afgørende er, at lokale initiativer understøtter hinanden, og at de frem for alt sikre, at et initiativ i en kommune ikke undermineres af noget, der sker eller ikke sker i en anden kommune. Regionale klimatilpasningsplaner skal udvikles i en tæt dialog og et samarbejde mellem regionen og de kommuner, der indgår i oplandet eller på kyststrækningen. Men planerne må være bindende. Forskellige kommuner kan opleve truslen forskelligt, og dermed prioriteres problemet også forskelligt. Der er derfor behov for en regional klimatilpasningsplan, der kan udlægge nogle fælles rammer i tæt samarbejde med de kommuner, den berører.

Danske Regioners 7 anbefalinger til en national klimatilpasningsplan

1. Regionale klimatilpasningsplaner skal sikre sammenhæng

Hvis vi skal sikre Danmark mod vand fra alle sider, er det nødvendigt med løsninger for samlede vandoplande og kyststrækninger. Regionerne kan samle planlægningen og inddrage borgere, kommuner og andre aktører i processen. Samtidig kan de regionale planer udgøre et grundlag for prioritering, løfte indsatsen ved at koble mange finansieringskilder og bruge de regionale erfaringer med at hente EU-finansiering.

2. Indsatser skal følge vandets geografi

Ofte ligger et oversvømmelsestruet område i én kommune, mens løsningen er bedst placeret i en anden kommune. Klimatilpasning skal derfor planlægges ud fra en samlet tilgang til vandløbssystemet, hvor grundvand, hav og åer tænkes sammen. Lokale løsninger skal ses i større sammenhæng, og de regionale klimatilpasningsplaner skal håndtere udfordringerne i vandets geografi, når de går på tværs af kommunegrænser.

3. Der oprettes Kyst- og Vandråd

De gode løsninger opstår i partnerskaber, hvor lokal viden og erfaring sættes i spil. Kyst- og Vandrådene skal skabe dialog, inddragelse og bidrage til løsningerne. Rådene skal bestå af borgere, kommuner, regioner, erhvervsliv, naturinteresser mm. De skal dække de enkelte vandoplande og kyststrækninger, og de skal nedsættes og faciliteres af regionerne.

4. De regionale klimatilpasningsplaner udmønter en national fond eller pulje til finansiering af indsatserne

Risikoen for oversvømmelse falder ikke nødvendigvis sammen med et områdes betalingsevne. Derfor er det vigtigt, at klimatilpasning understøttes af nationale midler. Men nationale midler er ikke i sig selv en garanti for den rette prioritering

af projekter. Derfor skal de regionale planer sikre, at pengene bruges bedst muligt. Modellen kendes fra generationsforureninger, hvor regionernes plan for oprensning er grundlag for udmøntningen af de statslige midler.

5. Flere fællesprojekter for kystbeskyttelse skal gennemføres

Der er brug for sammenhængende kystbeskyttelse på tværs af kommunegrænser, og der er brug for flere fælles løsninger. Ofte går projekter i stå pga. uenighed om bidragsfordelinger, og enkeltprojekter gør klimatilpasningen dyrere end nødvendigt. Derfor bør regionerne få ansvaret for fællesprojekter efter Kystbeskyttelsesloven og kunne fastlægge bidragsfordelinger, så flere fællesprojekter gennemføres.

6. Naturbaserede løsninger foretrækkes

Vi skal bruge naturen aktivt, når vi klimatilpasser. Det kan fx gøres ved genslyngning af vandløb, bevarelse af strandenge eller ved udtagning af lavbundslande. Ud over at bidrage til klimatilpasning forbedrer naturlige løsninger forholdene for de danske økosystemer, reducerer CO₂ og gør områder mere attraktive for borgerne. Det er også økonomisk smart, for når et projekts merværdi øges, så udbredes også kredsen af potentielle bidragsydere. Det kan fx være, at klimatilpasningsprojekter kobles med puljen til udtagning af lavbundsland.

7. Regionerne skal fremme innovation og videndeling på tværs

De gode løsninger skal udbredes på tværs af projekter og myndigheder, og regionerne skal have ansvar for at dele best practice på tværs af administrative grænser. At regionerne har en god størrelse til dette, ses i regionale klimatilpasningsprojekter, fx Coast to Coast Climate Challenge.

Læs mere om anbefalingerne: <http://www.e-pages.dk/regioner/203/>



Af Jan Petersen, freelancer

Ved hurtigt at skimme denne liste igennem får du et overblik over, hvilke artikler der for nyligt har været bragt i danske tidsskrifter inden for vores fagområde. Hermed er der skabt en hurtig indgang til ny inspiration og viden m.m. For overskuelighedens skyld er artiklerne ordnet i emner.

1. Jura, økonomi og politik

Nye love og bekendtgørelser

Bekendtgørelse om kvalitetskrav til miljømålinger,

[BEK nr. 2362 af 26/11/2021](#)

Bekendtgørelse om vandkvalitet og tilsyn med vand-

forsyningsanlæg, [BEK nr. 2361 af 26/11/2021](#)

Bekendtgørelse om udpegning af drikkevandsressourcer,

[BEK nr. 2071 af 11/11/2021](#)

Spørgsmål og svar om udledning af visse forurenende

stoffer til vandmiljøet, [VEJ nr. 9053 af 21/12/2021](#)

Spørgsmål til Miljøministeren (§ 20)

[S 356](#) og [S 357](#) om forureningerne i Grindsted

Forureneren betaler – i princippet

Nyheden omhandler forureneren-betaler-princippet, som er et grundlæggende princip under miljølovgivningen i Danmark og resten af EU. Det er Jordforureningslovens hensigt at "fastholde forureneren som den, der først og fremmest skal foretage de nødvendige foranstaltninger til at afværge følgerne af en jordforurening og genoprette den hidtidige tilstand". Hvis det ikke er muligt, overgår opgaven til regionen. Ansvar for miljøtilsyn og håndhævelse af forureneren-betaler-princippet over for virksomheder ligger hos kommuner og Miljøstyrelsen, men det er ikke altid muligt for tilsynsmyndigheden at udstede et påbud om undersøgelse eller oprensning, og så ender indsatsen hos regionerne. Udfordringen med at håndhæve forureneren-betaler-princippet er også kendt andre steder i EU, og Den Europæiske Revisionsret har derfor konkluderet, at der er behov for at styrke anvendelsen af forureneren-betaler-princippet.

Nyhed fra Regionernes Videncenter for Miljø og Ressourcer den 9. december 2021. Læs mere på [miljoeogressourcer.dk](#).

Rapporten fra Den Europæiske Revisionsret (Special Report 12/2021, ISBN nr. 978-92-847-6286-6) kan læses på [eca.europa.eu](#)

2. PFAS

Faktaark om PFAS i malingsindustrien

Regionernes Videncenter for Miljø og Ressourcer har fået

udarbejdet faktaark om [PFAS i Malingsindustrien](#).

Se alle branchebeskrivelser, stofoversigter og faktaark på [miljoeogressourcer.dk](#)

Regioner har fundet PFAS i 29 vandløb

En status på regionernes undersøgelser af vandløb viser, at PFAS forekommer i vandløb rundt omkring i landet, og at kriteriet for PFAS er overskredet i 29 af de 135 undersøgte vandløb. Dermed er PFAS den stofgruppe, der er fundet oftest.

Nyhed fra Danske Regioner den 11. februar 2022.

Læs mere på [regioner.dk](#)

PFAS fundet i grundvandet

Miljøstyrelsen har undersøgt grundvand, der ikke anvendes til drikkevand fra 278 boringer fordelt over hele landet. Formålet var at afdække, om der var et generelt problem med PFAS-stoffer i grundvandet. Det tyder resultatet ifølge Miljøstyrelsen ikke på. I 11 boringer (4 %) var den nye PFAS-grænseværdi overskredet, mens der i 55 boringer (20 %) blev påvist PFAS, men under grænseværdien. I de resterende 212 boringer (76 %) blev der ikke fundet PFAS.

Nyhed fra Miljøstyrelsen den 20. januar 2022. Læs mere på [mst.dk](#)

Ny status på sundhedsrisiko fra brandøvelsespladser

Kommunerne har gennemgået landets brandøvelsespladser og vurderet, at PFAS-forurening kan udgøre en sundhedsrisiko ved 52 af disse brandøvelsespladser.

Nyhed fra Miljøstyrelsen den 26. januar 2022.

Læs mere på [mst.dk](#)



PFAS kan renses væk ved hjælp af gængse metoder

Artiklen er en del af Vandpostens tema om PFAS, og den omhandler rensning af PFAS-forurenede drikkevand. Det fremgår, at der findes flere gængse rensemetoder, hvoraf de mest lovende er kulfiltrering (GAC og μ GAC), ionbytning og membranfiltrering (NF og RO). Hvilken metode, der er den mest effektive over for en given forurening, afhænger af grundvandets sammensætning af salte, mineraler, organisk stof og eventuelt andre miljøfremmede stoffer. Anbefalingen er derfor at analysere vandet for indholdet af PFAS og de øvrige stoffer, så oprensningen kan tilpasses derefter. I forhold til PFAS-forurenede jord viser test, at PFAS destrueres allerede ved 350 °C (termisk oprensning).

Af C. Lundberg, Krüger, Vandposten, nr. 232, januar 2022, s. 28-29.

3. Undersøgelse og oprensning

Forskere udvikler sporingsværktøj som afslører giftige stoffer i indeklimaet

Afdampning fra forurenede jord under boliger kan sende sundhedsskadelige stoffer op gennem gulvkonstruktionen og påvirke indeluften og dermed beboernes sundhed. Samtidigt kan møbler, maling, rengøringsmidler, byggematerialer mv. påvirke indeluften negativt. I artiklen beskrives kort et nyt sporingsværktøj, udviklet på KU i samarbejde med Region Hovedstaden og Eurofins A/S, som i langt højere grad end tidligere kan adskille kilden til de sundhedsskadelige stoffer i indeluften.

Af Teknik & Miljø nr. 11, november 2021, s. 67 (ISSN 1902-2654).

Elektricitet renser forurenede grundvand

Som et effektivt og bæredygtigt alternativ til pump-and-treat oprensning af chlorerede opløsningsmidler beskrives i denne artikel arbejdet med at teste elektrokemisk nedbrydning som oprensningsmetode. Ved at sætte strøm til elektroder placeret i de jordlag, hvor grundvandet strømmer, kan der dannes en række kortlivede kemiske forbindelser, der kan nedbryde chlorerede opløsningsmidler. Artiklens forfatter vurderer, at elektrokemisk nedbrydning har et lovende potentiale til trods for, at der også ved denne in situ metode er risiko for negative miljøpåvirkninger, fx kan der lokalt omkring elektroderne forekomme ændringer i pH, ledningsevne og hydrokemi, ligesom der er risiko for dannelse af chloroform. Det mikrobielle miljø er ikke undersøgt. Selvom metoden er målrettet nedbrydning af chlorerede opløsningsmidler i grundvand, så vurderes den også anvendelig til andre forureningstyper fx oliestoffer, pesticider og PFAS.

Af B.H. Hyldegaard (Region Sjælland), Vand & Jord nr. 4, december 2021, s. 185-187 (ISSN 0908-7761)





4. Geologi

Mapping groundwater vulnerability to pesticide contamination through fractured clays – CLAYFRAC

Rapporten beskriver resultatet af arbejdet med at kortlægge sprækkede leraflejrings sårbarhed over for pesticider. Til dette formål blev der etableret fire store udgravninger repræsenterende forskellige polymorfologiske landformer. I hver af udgravningerne blev lithologien og tilstedeværelsen af strømningsveje, herunder makroporer (ormehuller, rodkanaler mv.), sprækker og sandslirer karakteriseret. Den geologiske karakterisering viste, at makroporer var til stede i alle øvre aflejringer, hvor de sandsynligvis er styrende for grundvandstransporten. Desuden blev der observeret en farveændring i sprækkerne fra grå til rød på grund af jernudfældning i større dybde. På alle lokaliteter blev der registreret sandlag og sandlinser af varierende tykkelse. Rapporten konkluderer bl.a., at der brug for mere viden på området, før der kan laves realistiske simuleringer af pesticidtransport på større skala i både oxiske og anoxiske miljøer.

Af J. Aamand, N. Badawi, P.R. Jakobsen (GEUS), P.R. Jørgensen (PJ-Bluetech ApS), K. Mosthaf (DTU), L. Trolborg (GEUS), M. Rolle (DTU), *Pesticide Research* no. 206, januar 2022 (ISBN nr. 978-87-7038-375-2). Læs mere på mst.dk

Ancient Root Macropores and Fractures in Glacial till and Their Contribution to Pesticide Vulnerability of Groundwater in Low- and High-ground Agricultural Landscape – PESTPORE 2

Rapporten omhandler grundvandstransport i makroporer og sprækker i moræneler under ca. 1 m u.t. og betydningen af disse for grundvandets sårbarhed over for pesticidforurening. Undersøgelsen viste, at sprækker lukker til med dybden i takt med stigende jordtryk, indtil de stort set er lukket i dybder større end 1-2 m, og at det er rodkanaler fra forhistorisk skov, der er styrende for grundvandstransport og pesticidsårbarhed ned til mindst 3-6 meters dybde. Under rodkanalerne havde sprækkerne ringe eller ingen betydning for grundvandsstrømningen og pesticidudvaskningen, hvor indlejrede sandlinser, sandlag,

sandlommer og andre typer sedimentær heterogenitet i moræneleren var de vigtigste strømningsveje til det dybere grundvand.

Af P.R. Jørgensen (PJ-Bluetech ApS), P.H. Krogh, J. Qin (AU) Luca Modesti (PJ-Bluetech ApS), I.B. Nielsen, F. Seersholm (KU), N. Wagner (Georg-August-University of Göttingen), A.J. Hansen (KU), J. Olsen (AU), B. Strobel, S. Hansen, J. Gudbjerg, C.T. Petersen (KU), M. Lacoste, I. Cousin (INRA), E. Keaveney, G. Barrett (Queen's University Belfast), *Pesticide Research* no. 207, februar 2022 (ISBN nr. 978-87-7038-376-9). Læs mere på mst.dk

Ny geologisk kortbladsbeskrivelse over Møn

Det geologiske kort over Møn i skala 1:50.000 omfatter Møn med de tilgrænsende øer Langø, Lindholm og Nyord samt mindre dele af Sjælland og Falster. Nyheden omhandler den tilhørende kortbladsbeskrivelse med en systematisk gennemgang af den geologiske baggrund for kortet.

Nyhed fra GEUS den 14. december 2021. Læs mere på geus.dk

Geologisk kortlægning af Salling og dele af Mors

Geologisk kortlægning af Salling og dele af Mors udført i 2020/2021. Kortlægningen danner grundlag for en opdateret grundvandsmodel.

Af N.K. Klem (Miljøstyrelsen), *Grundvand og drikkevand* nr. 4, november 2021 (ISBN nr. 978-87-7038-364-6). Læs mere på mst.dk

5. Overfladevand og grundvand

Kviksølv langs Harboøre Tange

Harboøre Tange blev i 1960'erne forurenet med kviksølv på grund af udledninger af kviksølvholdige bejdsemidler fra Cheminova. Undersøgelser i 1980'erne påviste således kraftigt forhøjede kviksølvindhold i såvel de kystnære sedimenter som i den flora og fauna, der var knyttet til dette levested. I artiklen beskrives resultater fra en nyere undersøgelse, hvor forekomsten af kviksølv er blevet undersøgt i de områder, der senest blev undersøgt i 1980'erne. Der er således udtaget prøver af sediment og biota ved 10 stationer langs Harboøre Tanges østlige kyst i Nissum Bredning. Koncentrationerne af kviksølv fra de øverste sedimentlag i dag er lavere end ved målingerne i 1980'erne. Det er uklart, hvor det er forsvundet hen, men artiklens forfattere vurderer det plausibelt, at bølgebevægelser og vandstrømme har vasket de fine organiske partikler, som kviksølvet fortrinsvist bindes til, ud af sedimentet. Målinger af kviksølvkoncentrationerne i de bentiske invertebrater langs Harboøre Tange viste sig at være ca. en faktor 4-6 gange lavere end i 1980'erne.

Af P. Bjerregaard, T.G. Schmidt og M.M. Mose (SDU), *Vand & Jord* nr. 4, december 2021, s. 159-162 (ISSN 0908-7761)

Typetal for miljøfarlige forurenende stoffer i regnbetingede udledninger

Den nationale overvågning (NOVANA) måler miljøfarlige forurenende stoffer (MFS) i regnbetingede udledninger, herunder pesticider, chlorerede forbindelser og PFAS. På baggrund af overvågningen fastsættes et såkaldt typetal, der er en vægtet middelværdi af de måledata, der foreligger for et givent stof i regnbetingede udledninger (data tilbage til 2000). Tallet benyttes til at vurdere påvirkningen fra øvrige punktkilder af samme type.

Af K.B. Kjær og D. Rasmussen (DHI), *NOVANA-rapport*, januar 2022 (ISBN nr. 978-87-7038-386-8). Læs mere på mst.dk

Grundvandets tilstand og udvikling 1989-2020

Rapporten om grundvandets status og udvikling er baseret på data indsamlet i perioden 1989 til 2020 som led i Den Nationale Grundvandsovervågning (GRUMO) og Landovervågning (LOOP). Rapporteringen af grundvandsovervågningen omfatter kemiske analyser af bl.a. pesticider og perfluorerede stoffer, pejldata samt oplysninger om op-pumpede vandmængder fra grundvand og overfladevand. Af L. Thorling, C.N. Albers, C. Ditlefsen, B. Hansen, A.R. Johnsen, M.H. Mortensen og L. Trolborg (GEUS), *Teknisk rapport*, 17. december 2021 (ISBN 978-87-7871-553-1).

Læs mere på geus.dk



6. Andet

Vandmiljø og Natur 2020. NOVANA. Tilstand og udvikling - faglig sammenfatning

Samlerapporten for NOVANA 2020 indeholder de væsentligste resultater i de faglige delrapporter, herunder en opgørelse af de vigtigste påvirkningsfaktorer og en status for tilstand i luft, grundvand, vandløb, søer, hav, naturtyper og arter. Grundlaget for rapporten er de årlige rapporter, som udarbejdes af fagdatacentrene for de enkelte emneområder.

Af S. Jung-Madsen, S. Boutrup, V.V. Nielsen, A.S. Hansen, L.M. Svendsen, J. Fredshavn, G. Blicher-Mathiesen, H. Thodsen, J.W. Hansen, S. Høgslund, L.S. Johansson, B. Nygaard, C. Kjær, T. Ellermann (AU), L. Thorling (GEUS) og T. Frank-Gopolos (Miljøstyrelsen), DCE-rapport nr. 478, december 2021 (ISBN 978-87-7156-651-2). Læs mere på dce.au.dk

ATV-mødet "Cirkulær økonomi og genanvendelse"

Vi skal producere mindst muligt affald, affald skal omdannes til ressourcer, og restprodukter får ny anvendelse, men hvor giver det bedst mening, og hvad skal der til for at øge genanvendelsen uden at gå på kompromis med risikoen for at forurene jord og grundvand. På mødet blev der givet en status på størrelsesordener, affaldsstrømme og problemstoffer, og der var indlæg om nyttiggørelse af restprodukter med eksempler fra kunstgræsbaner, jord og spildevandsslam samt cases og seneste nyt om revision af restproduktbekendtgørelsen.

Præsentationer fra ATV Jord og Grundvands møde nr. 82, 8. december 2021, kan hentes på atv-jord-grundvand.dk



**Regionernes Videncenter
for Miljø og Ressourcer**

**Regionernes Videncenter
for Miljø og Ressourcer**
Dampfærgevej 22
2100 København Ø
mail@miljoeogressourcer.dk
www.miljoeogressourcer.dk

Miljø og Ressourcer

Udgives af Regionernes Videncenter
for Miljø og Ressourcer. Udkommer fire
gange årligt på papir og elektronisk.

Redaktør: Kit Jespersen
Design: BGRAPHIC
Tryk: PRinfoParitas
ISSN 2445-7051 Trykt version
ISSN 2445-706X Online