



VI FORURENER GRUNDVAND OG DRIKKEVAND

Foto: Colourbox

I Danmark har vi altid kunnet anvende rent grundvand til drikkevand. Men tiderne med "rent" grundvand er en saga blot, hvis ikke vi opretter grundvandsparker og begrænser landbrugets nitrat- og pesticidforurening.

For 40 år siden var "alle" danskere enige om, at naturen skulle beskyttes mod forurening; og havet og grundvandet blev opfattet som hellige.

Men skiftende regeringer har siden ikke formået at gøre det nødvendige for at opnå god økologisk kvalitet i vandområderne og god kemisk kvalitet af grundvandet. Det har bragt os i en situation, hvor vandmiljøet er i en sørgelig forfatning, og grundvandet – og dermed drikkevandskvaliteten – er truet i en grad, så tiderne med rent, billigt grundvand direkte fra hanen meget snart er forbi.

Adgangen til rent dansk grundvand til brug for drikkevand har i Danmark været afgørende for fol-

kesundheden og samfundsøkonomien. Det skyldes, at grundvandet *ikke* kan renses for alle miljøfremmede stoffer, og vandbehandling er både dyr og efterlader uønskede stoffer.

Forureningskilder til grundvandet

Listen med kilderne og antal forurenende stoffer i grundvandet er alenlang. Gamle forurenede industrigrunde og lossepladser oprenser man løbende. Den værste er måske Grindstedsværkets forurening med cyanid, kviksølv og opløsningsmidler fra gamle depoter på sin grund i byen, hvorfra forurenede grundvand siver til Grindsted Å og til gamle og nye boligområder, hvor det frarådes at bruge egne borer til at vande køkkenhaven. Fabrikken dumpede fra 1956 til 1973 også spildevand

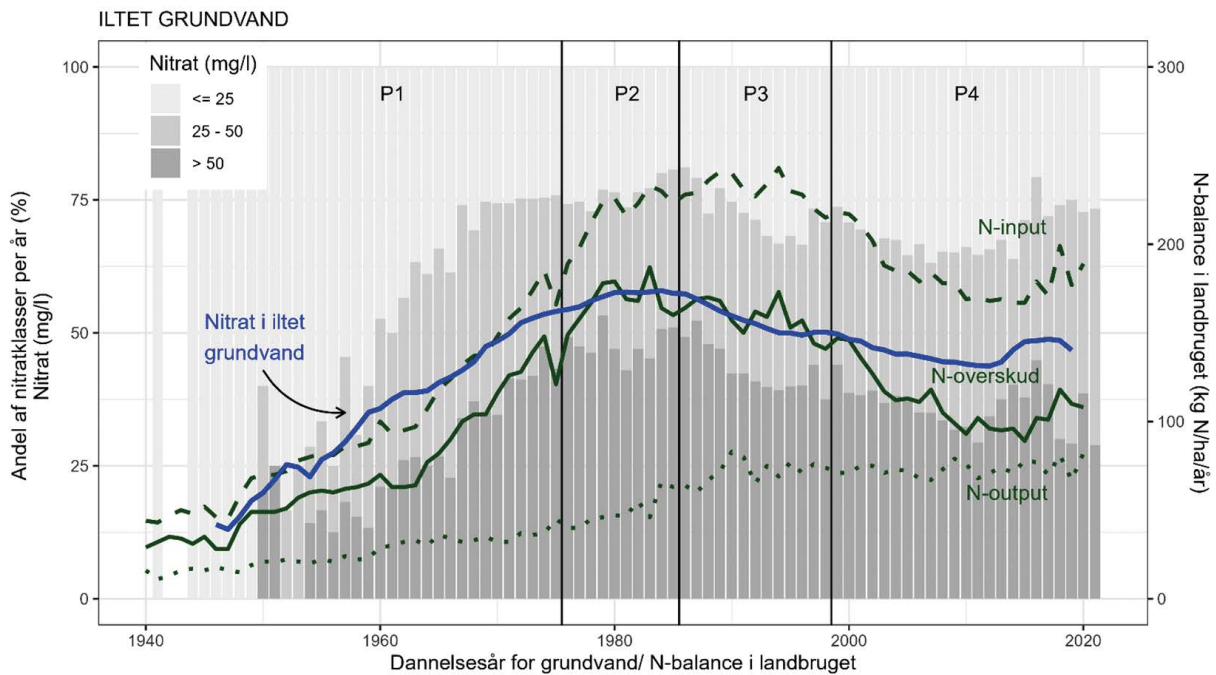
(300.000 ton) i sandet i Kærgaard Plantage, hvorfra det fortsat siver ud i Vesterhavet over en 1400 meter lang strækning med badeforbud. Grindstedborgerne er bekymrede for deres helbred, og det tidligere amt, regionen og staten har ofret kassen på at rense op.

Landbruget er den store kilde til fladeforurening med både nitrat og pesticider i grundvandet. Da kvælstoftilførslen på markerne de seneste 80 år langt har oversteget fraførslen med afgrøderne, skabte dette overskud en tilsvarende stigning i nitratindholdet i nydannet grundvand fra i gennemsnit 12 mg/liter i 1945 til nær 50 mg/liter (figur 1). I 1980 blev den vejledende grænseværdi for nitrat i drikkevandet sat til 25 mg/liter og den højst tilladelige grænseværdi

Forfatteren



Kaj Sand-Jensen er professor i ferskvandsøkologi ved Biologisk Institut, Københavns Universitet. Forfatter til bøger om biodiversitet, Danmarks natur, planters evolution, almen økologi og ferskvandsøkologi.
ksandjensen@bio.ku.dk



Figur 1. Nitratkoncentrationen i det øvre iltede grundvand som funktion af dannelsesåret fra 1945 og frem vist som fem-årig glidende gennemsnit (blå kurve). For de samme år er vist overskuddet af landbrugets kvælstofgødskning (grøn kurve). Overskuddet er tilførslen af kvælstofgødning minus fraførslen af kvælstof med afgrøderne.

De mørkeste baggrundssøjler angiver andelen med > 50 mg nitrat/liter, de mellemgrå angiver andele mellem 1 og 25 mg/liter, og de lyse foroven angiver andele med < 1 mg nitrat/liter.

Bemærk, hvor tæt nitratkoncentrationen i nydannet grundvand følger overskuddet af landbrugets kvælstofgødskning.

I periode P1 stiger nitratinholdet fortsat, i periode P2 er indholdet meget højt og konstant, i periode P3 falder indhold, og i periode P4 faldet indholdet først for siden at stige frem mod i dag. Kilde: Thorling et al. (2024, dec).

til 50 mg/liter, men den oprindelige vejledende grænseværdi på 25 mg/liter er siden gledet ud.

Efter et maksimum i 1983 over 50 mg/liter faldt nitratoverskuddet og nitratinholdet i nydannet grundvand en smule på grund af flere nationale indsatser, men denne udvikling blev atter vendt til en stigning efter den såkaldte Landbrugs-pakkes tilladelse til øget gødskning i 2016.

I perioden 2020-2022 varierede nitratinholdet i det unge iltede, terrænnære grundvand landet over med 41% under 1 mg/liter, 15% over 50 mg/liter og resten herimellem. Vandværkerne derimod pumper fra ældre, dybereliggende grundvand, som er mindre forurenet, fordi intensiv gødskning og pesticidan-

vendelse er et nyere fænomen, og fordi nitrat under vandets nedsvivning til stor jorddybde til dels fjernes af bakterielle og kemiske processer (se faktaboks på næste side).

Problemet med nitrat

Langt det meste drikkevand (80 %) indeholdt i 2020-2022 mindre end 4 mg nitrat/liter, men 20 % indeholdt mere, 1 % endog over 50 mg/liter. Nitratrigt drikkevand udgør et sundhedsproblem, fordi det kan hæmme blodets iltoptagelse hos spædbørn, hvilket historisk begrunder grænseværdierne. En ny stor dansk undersøgelse viser imidlertid, at nitrat i drikkevandet øger risikoen for mave-tarmkræft allerede ved cirka 4 mg/liter. Den effekt alene vurderes at koste 2,2 milliarder kroner årligt i øgede udgifter til kræftbehandling. Kræfttrisikoen

ved højt nitratinhold i drikkevand og fødevarer skyldes dannelsen af nitrosaminer i mave og tarm.

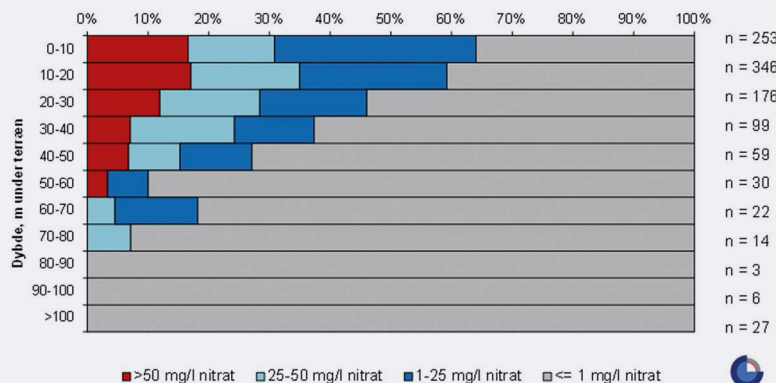
Grundvand og drikkevand er især nitratrigt på steder, der mangler det lerholdige dæklag, hvor nitraten under iltfrie forhold omdannes til nitrogengas ved bakterielle og

GRUMO

står for Grundvandsovervågning og er et landsdækkende program, der overvåger grundvandet. Programmet indsamler data om grundvands kvalitet og mængde for at sikre, at der er tilstrækkeligt med rent drikkevand til befolkningen nu og i fremtiden. GRUMO er en del af Miljøstyrelsens Nationale Overvågningsprogram for Vandmiljø og Natur (NOVANA).

Nitratreduktion med jorddybden

Nitratindholdet i grundvandet reduceres med dybden i jorden af to grunde. For det første, fordi grundvandet bliver stadig ældre og derfor er dannet for flere årtier eller århundreder siden, hvor der enten slet ikke eller i ringe omfang blev anvendt organisk gødning og nitrat i handelsgødning. For det andet, fordi nitrat forbruges af bakterier og kemisk under iltfrie forhold i dybere vandmættede jordlag.



Figur 2. Dybdefordeling af den gennemsnitlige nitratkoncentration i grundvandet målt i 2023 og vist for fire intervaller: < 1 mg/liter (grå), 1-25 mg/liter (mørkblå), 25-50 mg/liter (lyseblå) og > 50 mg/liter (rød, grænseværdien for nitrat i drikkevand). Antal analyserede prøver (n) er angivet. Kilde: Thorling et al. (2024 dec).

Uden oxygen, anvender bakterier først nitrat (NO₃⁻) og derefter oxideret ferri-jern (Fe³⁺) og sulfat (SO₄²⁻) som respirationsmiddel (= elektronacceptor) ved nedbrydning og udnyttelse af organisk carbon. Nitraten omdannes ved denitrifikation til dinitrogen N₂ (eventuelt lidt lattergas, N₂O) og CO₂ frigives (se 1). Visse bakterier benytter nitrat til at oxidere mineralet pyrit (FeS₂) og danner N₂, sulfat og reduceret ferro-jern (Fe²⁺, se 2). Bakterier kan med nitrat oxidere ferro-jern og danne N₂ og ferri-jern (se 3). Uden bakteriers medvirken kan nitrat reduceres kemisk af lerminerale med ferro-jern ved en proces, der ligner (3).

1. $5 \text{ Org-C} + 4 \text{ NO}_3^- + 2 \text{ H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{ N}_2 + 5 \text{ CO}_2 + 4 \text{ OH}^-$
2. $5 \text{ FeS}_2 + 14 \text{ NO}_3^- + 4 \text{ H}^+ \rightarrow 7 \text{ N}_2 + 10 \text{ SO}_4^{2-} + 5 \text{ Fe}^{2+} + 2 \text{ H}_2\text{O}$
3. $5 \text{ Fe}^{2+} + \text{ NO}_3^- + 12 \text{ H}_2\text{O} \rightarrow 5 \text{ Fe(OH)}_3 + 0,5 \text{ N}_2 + 9 \text{ H}^+$

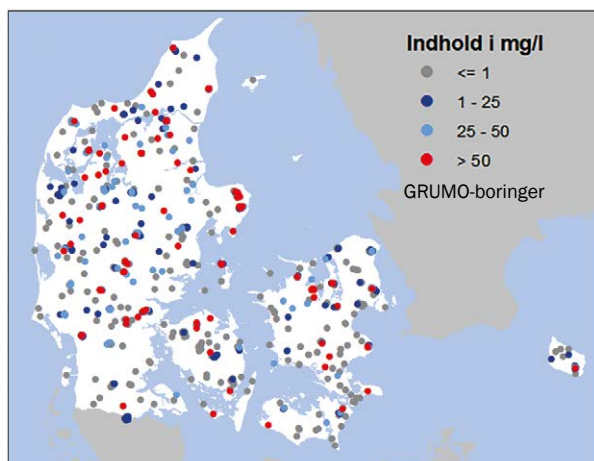
Nitratreduktionen er størst på lerjorde. En sammenligning mellem dyrkede oplande viser således gennemsnitlige nitratkoncentrationer i de øverste 11 meter af lerjorde på 36 mg/liter, mens indholdet er det dobbelte (72 mg/liter) i sandjorde.

kemiske processer. Det gælder i det såkaldte nitratbælte mellem Grenaa, Silkeborg, Nykøbing Mors og Aalborg, hvor sand- og grusaflejringer overlejrer sprækkekalcken, så nitraten fra markerne lettere trænger ned i grundvandsmagasinerne. Da det nye grundvand dannes med et nitratindhold omkring 50 mg/liter under konventionelt dyrkede marker, vil det udgøre et stigende problem i fremtiden med at skaffe nitratfattigt drikkevand, medmindre der etableres grundvandsparker uden dyrkning, gødskning og sprøjtning.

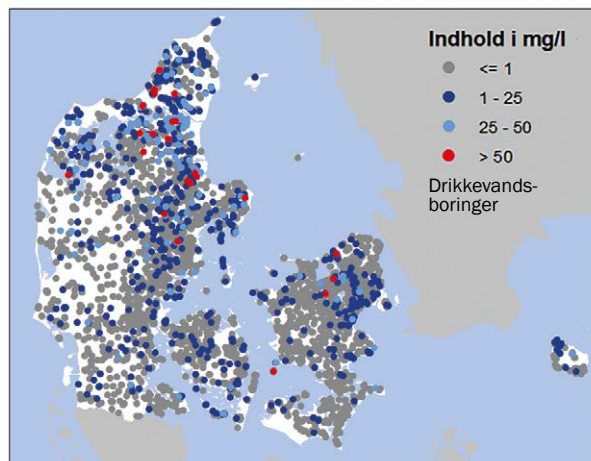
Udbredte grundvandsparker vil også være gavnlige for naturen. Som fagekspert i overfladevand og biodiversitet oplever jeg, at nitratrigt grundvand skaber omfattende forurening, hvor det bryder frem. Det sker i lysåbne potentielt artsrige kilder, der er blevet ændret til tæt opvækst af brændenælder og pilebuske. Nitratrigt grundvand fra dyrkningsjorde bryder også frem i skrænterne ved ådale og kysten, hvor den blomsterrige vegetation med mange insekter på tilsvarende måde kvæles af opvækst af næringskrævende høje urter og buske. Nitratrigt grundvand fremmer som bekendt også den ødelæggende algesuppe i søerne og fedtemøget i fjordene.

Pesticider i grundvandet

Oprindeligt skulle anvendelse af ethvert pesticid stoppe, hvis det blev konstateret i grundvandet. Men har



Nitratindholdet i grundvand i 2023 i 1.035 GRUMO-indtag. Nitratindholdet er opdelt på fire koncentrationsklasser. Kilde til begge kort: Thorling et al. 2024 dec. /Grafik efter GEUS



Nitratindholdet i grundvandet i 6.111 vandforsyningsboringer. Data viser gennemsnit pr. indtag i perioden 2019-2023. Vandværkerne undgår såvidt muligt at indvinde fra nitratholdige grundvandsmagasiner.



I mange år har vandværkerne investeret i dybere og dermed dyrere vandboringer for at undgå grundvand med nitrat og pesticider. For mange værker er den løsning ikke længere en mulighed, og nu er de henvist til at prøve at fortynde sig ud af problemerne. Mange mindre vandværker er blevet nedlagt på den baggrund.

Foto: Colourbox

man elementær indsigt i jordbundens struktur, ved man, at udtørring og frysning af jorden danner sprækker, ligesom der findes dybtliggende sprækker, der stammer helt tilbage fra gletsjernes tryk under istiden. Man ved også, at regnorme og andre større gravende dyr efterlader makroporer under pløjelaget til mere end 1 meters dybde. Ved intens nedbør kan vandopløselige pesticider eller deres nedbrydningsprodukter samt selv sværere opløselige stoffer hurtigt sive mod grundvandet via makroporer.

Selv om et pesticid i sin oprindelige form hænger fast i organiske stoffer i jorden, gælder det ikke nødvendigvis i meget permeable jorde af sand, grus og kalk, og slet ikke for vandopløselige nedbrydningsprodukter og for pesticidrester bundet til fine partikler af ler og organisk stof. Denne risiko for nedsivning af pesticider blev afvist af pesticideksperter tilknyttet landbrugssektoren i 1980'erne, men viste sig snart efter at være en kendsgerning. I 2025 er pesticiderne nærmest overalt i grundvandet.

Pesticider, som binder sig til organisk stof i dyrkningsjorden, kan på den anden side ved mange års

dosering akkumulere til biologisk skadelige niveauer for bakterier, smådyr og dermed omsætningen i rodzonen. Herfra kan moderstofferne og deres nedbrydningsprodukter tillige udvaskes gennem utallige år.

For at sikre, at man fortsat kan bruge grundvand som drikkevand, selvom det indeholder pesticider, indførte man i 1999 grænseværdier, som skulle overholdes. Da så grænseværdien alligevel blev overskredet, benyttede man en ny vurdering, som går ud på, om der er tale om en væsentlig overskridelse, og om man gennemsnitligt kan holde sig under grænseværdien ved at blande vand fra flere drikkevandsindtag. Det princip benyttes i dag hyppigt for drikkevandet, men udfordres i stigende grad af mangel på renere grundvand til fortynding.

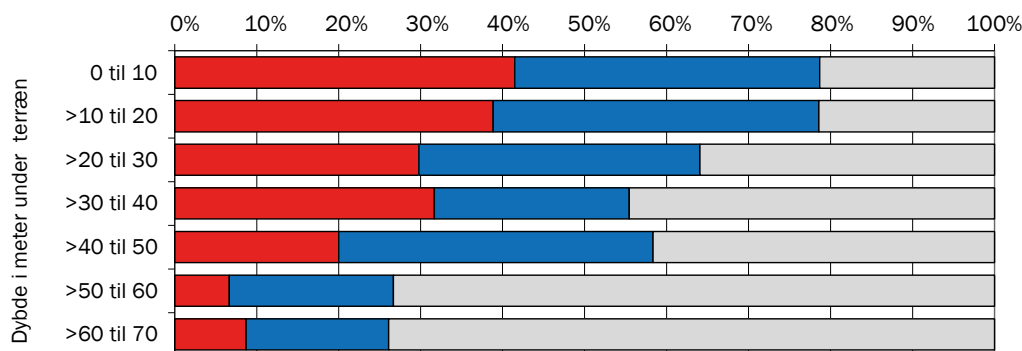
Med tiden har man erfaret, at pesticider, som blev forbudt for mange år siden, fortsat optræder i nydannet grundvand, fordi stoffet selv inklusive nedbrydningsprodukter langsomt frigøres fra ophobningen i jorden. Pesticider, som forbydes eller udfases, erstatter producenterne lynhurtigt med nye midler ledsaget af forsikringer om, at de ikke siver til grundvandet. Erfaringerne

viser imidlertid, at forsikringerne ikke holder i virkeligheden, da pesticidernes transport og nedbrydning i jorden afviger fra teori og standardiserede laboratorieforsøg, der ikke afspejler den heterogene dyrkningsjord og det foranderlige vejr.

Vi har fejlet stort

Myndighedernes godkendelse og kontrol kan slet ikke følge med i det tempo som tusindvis af nye pesticider produceres og markedsføres hvert år, selv om der anvendes mange millioner på måling, kortlægning og forskning. Vandforsyningerne er derfor voldsomt pressede af stigende udgifter til stadig flere kostbare analyser og vandbehandling, og små selskaber er tvunget til at indgå i større selskaber for at klare de økonomiske udfordringer.

Fra man stopper anvendelsen af pesticider på et landbrugsareal, vil det vare årtier, før de og deres nedbrydningsprodukter helt forsvinder fra nydannet grundvand og endnu længere tid vil det vare i dybe magasiner med gammelt grundvand, hvor pesticiderne måske slet ikke nedbrydes. Her falder deres koncentration kun meget langsomt, hvis det fortyndes af yngre, renere grundvand ovenfra.



Figur 3. Pesticider og deres nedbrydningsprodukter mod dybden i grundvandet i intervaller på 10 meter for perioden 2020-2022. Andelen af prøver med koncentrationer over grænseværdien (0,1 µg/L) er vist med rødt. Andelen med konstateret forekomst af pesticider er vist med blå. Andelen uden konstaterede pesticider er vist med gråt, og den andel stiger markant med dybden og dermed med grundvandets alder. Efter figur 10 i Thorling et al. (2024 feb).

Vandforbrugerne, dvs. os alle, må tåle forureningen og betale for de stærkt øgede udgifter til kostbare kemiske analyser, nye borer, pumpning af vand fra fjerne borer og eventuelt kemisk rensning af drikkevandet. I intet tilfælde har landbruget, forurenere, måttet betale for udgifterne ved forureningen og fået påbud om at stoppe forureningen, så længe pesticidet fortsat er tilladt at anvende. Tværtimod forbeholder landbruget sig ret til at sprøjte tæt på drikkevandsboringer, og vandselskaberne og kommunerne har kun indgået få frivillige aftaler med landbruget, som kræver høje kompensationsfor at stoppe sprøjtningen og forureningen af grundvandet.

Status for den nationale monitoring af grundvand for 2020-2022 afslører pesticider i 68 % af 1049 prøver analyseret mindst én gang i de tre år. Grundvandet er med andre ord forurennet med pesticider langt de fleste steder. Vi har fejlet stort med at holde grundvandet rent, og problemerne stiger og stiger. Grænseværdier for enkeltstoffer på 0,1 µg/L overskrides i 33 % af prøverne, og 13 % overstiger grænseværdien på 0,5 µg/L for summen af stofferne. Som forventet siver pesticiderne mod større jorddybder og ældre grundvand, idet grænseværdien for enkeltstoffer overskrides i 40 % af grundvandet fra 0-20 m og 7% fra 50-70 m i jorden (figur 3).

I 7000 prøver af drikkevandet er billedet kun marginalt bedre. Der er

pesticider i halvdelen af prøverne, og i 14 % overskrides grænseværdien for enkeltstoffer. Også her er der mange flere fund af pesticider i borer fra det øverste grundvand i 0-10 meters dybde (82 %) end fra 40-60 meter dybe borer (7 %).

Fluorholdige pesticider og PFAS

Den seneste tid har der været særligt fokus på forurening med organiske perfluor- og polyfluoralkyl-forbindelser, forkortet PFAS. Problemet med disse stoffer er, at de er så svære at nedbryde i naturen, at vi kalder dem evigheds-kemikalier. Så længe der sker en tilførsel til miljøet, vil de derfor med tiden uundgåeligt overskride enhver rimelig grænseværdi, som opstilles. I overfladevand, jord og grundvand stammer PFAS fra mange andre kilder, idet de indgår i utallige produkter (elektronik, maling, imprægnering, blødgøring, smøremidler, teflon osv.), men de forsøges udfaset i EU. Det er imidlertid ikke tilfældet for fluor-pesticiderne i landbruget, der enten er eller danner PFAS-stoffer. Tværtimod stiger deres anvendelse eksplosivt i mængde. De er udviklede som særligt potente og længerevarende gifte. Da de således er evigheds-kemikalier vil de også med tiden overskride enhver rimelig grænseværdi, som opstilles.

I drikkevandsboringer fra det øvre grundvand (0-20 m) forekommer summen af fire langkædede PFAS-stoffer med et indhold over

grænseværdierne i 35 % af prøverne. I det dybere grundvand (40-60 m) er forekomsten lavere (9 %), hvilket stemmer overens med, at PFAS-produkter især er anvendt i de seneste 40 år. Dertil konstateres mindst ét af de 22 analyserede PFAS-stoffer i prøverne, men mange stoffer analyseres der ikke for, selv om nogle af dem måske er endnu hyppigere – det illustrerer den uoverskuelige analyse-udfordring. Endvidere godkendes pesticider i EU til anvendelse ét for ét, uden man kender cocktail-effekten i naturen og miljøet af alle pesticiderne sammen.

I Danmark anvender landbruget 14 sådanne fluorholdige pesticider. Når de nedbrydes, kan mindst halvdelen af dem afgive det lille molekyle trifluor-eddikesyre, TFA (CF₃-COOH), der er en simpel PFAS. TFA forekommer næsten overalt og i høje og stigende koncentrationer i det øvre grundvand. En anden kilde til TFA er regnen, idet TFA dannes i atmosfæren ved nedbrydning af fluorholdige gasser, der tabes fra køleanlæg og spraydåser.

PFAS og forsigtighedsprincippet

Da TFA forekommer i høje og stigende koncentrationer, ikke nedbrydes og ikke kan fjernes ved vandbehandling, anbefaler tre ledende forskere på feltet, Xenia Trier, Sandra S. Tøttenborg og Lisbeth E. Knudsen, et øjeblikkeligt forbud af fluorholdige pesticider (Politiken

12.12 2024). Sandra Tøttenborg henviser til dyreforsøg, der tyder på, at forsøgsdyr får leverskader af TFA. Lisbeth Knudsen udtaler: »Ud fra et forsigtighedsprincip kan jeg ikke afvise bekymringer med stoffet. Desuden er det meget stabilt, og vi slipper ikke af med det igen.«

Det fremhævede *forsigtighedsprincip* indgår i EU-lovgivningen, og det kan anvendes under tre forudsætninger: 1) identifikation af potentielt farlige følger, 2) evaluering af eksisterende videnskabelige data, og 3) omfanget af den videnskabelige usikkerhed. Om TFA og fluor-pesticider og de fleste øvrige pesticider gælder, at det ikke ud fra tilgængelige data er muligt at give en fuldstændig risikovurdering af potentielt farlige persistente stoffer på mennesker og natur. Og det kan berettige, at de hverken produceres, distribueres eller anvendes.

Pesticidlovgivningen i EU og herhjemme følger imidlertid ikke forsigtighedsprincippet. I Politiken 12.12.2024 er kontorchef i Miljøstyrelsen Bettina Ø. Larsen således citeret for: »Ifølge pesticidlovgivningen er vi som myndighed forpligtet til at foretage en konkret vurdering for hvert enkelt pesticid af, om TFA udvasker til grundvandet i koncentrationer over grænseværdien«. Kontorchefen nævner, at det er producenternes ansvar at dokumentere, at stofferne ikke udvaskes til over grænseværdierne.

For artiklens forfatter står det imidlertid klart, at flere fluorpesticider bidrager til TFA i grundvandet og dermed til, at grænseværdien med



Foto: Colourbox

tiden overskrides. Når det sker, kan producenten anføre, at det ikke skyldes det konkrete pesticid. Godtages denne påstand, kan intet pesticides bidrag til TFA dømme det ude. Da dosering og nedbrydning af pesticider samt jordtype, makroporer, skybrud osv. påvirker TFA-udviklingen i grundvandet, øjner jeg så mange usikkerheder og smuthuller, at et forbud kan forhindres i det uendelige. Så borgerne og myndighederne står svagt i kontrollen af miljøfarlige pesticider.

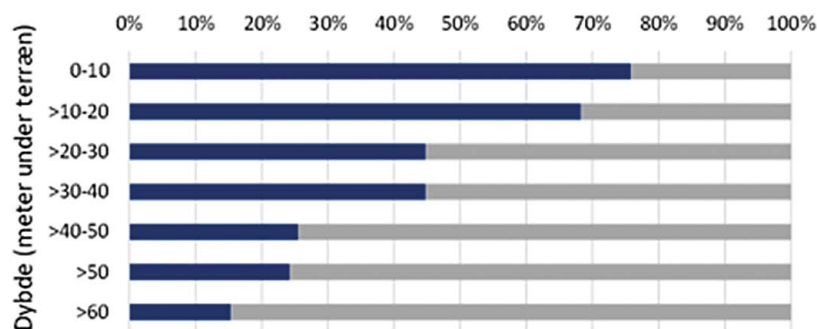
Fremtidens drikkevand?

Professor emeritus Erik Arvin og andre sagkyndige har i mange år skrevet om den stadig mere kritiske tilstand for grundvandet og drikkevandet i Danmark og anbefalet en skærpet kurs. Anvendelsen af fluorholdige pesticider kan som nævnt helt forbydes. Men skiftende regeringer og Miljøstyrelsen griber ikke markant ind over for landbrugets nitrat- og pesticidforurening.

Det sagkyndige udvalg i Akademiet for de Tekniske Videnskaber er alarmerede over forureningen af grundvandet og drikkevandet. Som ferskvandsbiolog og økolog deler jeg udvalgets anbefalinger:

- Skærpet regulering af pesticider og kemikalier
- Afværge forureningskilder, gamle såvel som eksisterende
- Udforske bedre vandrensning, fordi vi er pressede på at levere rent vand
- Oprette *grundvandsparker* og *stoppe pesticidsprøjtning* i god afstand fra vandboringer

Medmindre forureningskontrollen skærpes, og der snarest oprettes 200.000 hektar grundvandsparker, vil rent drikkevand om få år ikke mere strømme ud af hanerne til danske forbrugere. Og ingen vil kunne sige, at vi ikke var blevet advaret! ■



Dybdefordeling i vandforsyningsboringer for TFA i perioden 2021-2023. Indtagene er opdelt i to koncentrationsintervaller: ≤ KV på 9 µg/l (blå), eller ikke påvist (under detektionsgrænsen), grå. Dybden angiver afstanden fra terræn til overkanten af indtaget. Kilde: Thorling et al. (2024 dec).

Litteratur

- Arvin E. 2024. Miljøfremmede stoffer – en mission impossible? *Vand & Jord* 31, nr. 3: 96-99.
- Jacobsen B. H. et al. 2024. Health-economic valuation of lowering nitrate standards in drinking water related to colorectal cancer in Denmark. *Science of the Total Environment* 906: 167368.
- Rosenbom A. E. & Ullum M. 2023. Trods regelret brug udvaskes pesticidstofferne. *Vand & Jord* 30, nr. 3: 99-101.
- Sand-Jensen K. 2023. Problematiske fluorstoffer overalt. *Aktuel Naturvidenskab* nr. 2: 26-31.
- Schullehner J. et al. 2018. Nitrate in drinking water and colorectal cancer risk. A nationwide population based cohort study. *International Journal of Cancer*/doi.org/10.1002/ijc.31306.
- Thorling L. et al. 2024. Grundvandsovervågning. Resumé. Status og Udvikling 1989-2022. GEUS 2024 feb.
- Thorling L. et al. 2024. Grundvandsovervågning Status og udvikling 1989 – 2023, GEUS 2024 dec.
- www.grundvands-overvaagning.dk.
- Note: Tak for kommentarer fra Erik Arvin, Jens Andersen, Jens Borum og Walter Brüsck.