

Grundvandets kemiske tilstand – pesticider

I forbindelse med de næste Vandområdeplaner (VP3) blev den kemiske tilstand for blandt andet pesticider i 2.050 danske grundvandsforekomster vurderet. I artiklen beskrives resultatet af tilstandsvurderingen og den metodiske tilgang med såvel maskinelle vurderinger som konkrete undersøgelser. De konkrete undersøgelser var baseret på en konceptuel forståelsesmodel for pesticider, udviklet til dette formål.

LÆRKE THORLING, BERTEL NILSSON,
INGELISE MØLLER, LARS TROLDORGB,
ANDERS R. JOHNSEN &
ULLA E. BOLLMANN

Indledning

Til vandområdeplanerne for 3. planperiode 2021-27 skal den kemiske tilstand for en lang række stoffer fastlægges, se Miljøstyrelsens artikel i dette nummer af vand og jord /1/. Hertil er der udviklet en ny metode til vurdering af de 2.050 danske grundvandsforekomsters generelle kemiske tilstand for blandt andet pesticider. Metoden bygger på bestemmelserne i EU's vandrammedirektiv /2/, grundvandsdirektiv /3/ og CIS Guidance documents /4/. Et bærende element i metoden er den konceptuelle forståelsesmodel, der indgår i såvel de maskinelle som de konkrete undersøgelser af grundvandsforekomsterne.

Datagrundlag

Der er anvendt pesticidanalyser fra perioden 2013-2019 for alle stoffer karakteriseret som pesticider i Jupi-ter databasen og opdelt på en række forskellige datatyper, hver med forskellig repræsentativitet: GRUMO (Grundvandsovervågning, NOVANA), VF (aktive Vandforsyningsboringer), Depot, (Data indsamlet af regionerne eller kommuner), GKO (Grundvandskortlægning) og Andet (fx lukkede vandforsyningsboringer). I alt var der mere end 1.000.000 enkeltanalyser for pesticider til rådighed fordelt på 12.690 indtag.

Derudover er der anvendt hydrogeologiske, geofysiske og en lang række andre data /5/ fra DK-modellen /6/ og Jupiter- og Gerdadata-baserne (www.geus.dk) til at karakterisere grundvandsforekomsterne.

Grundvandskvalitetskrav og aggregering af data

Grundvandsdirektivet har fastsat grundvandskvalitetskrav for pesticider, med en værdi på 0,1 $\mu\text{g/l}$ for enkeltstoffer og 0,5 $\mu\text{g/l}$ for sumværdien. Grundvandskvalitetskravene vurderes for hvert enkelt indtag og anvendes i tilstandsvurderingen for aggregerede data. Med aggregerede data forstås de værdier, der for hvert indtag udtrykker koncentrationsniveauet for enkeltstoffer og sumværdien i perioden 2013-2019. Aggregeringen finder sted ved at beregne en såkaldt MAM-værdi, middel af årlige middelværdier for hvert indtag for enkeltstoffer, og derefter også beregne den højeste MAM værdi for et enkeltstof i indtaget (Max-MAM) og summen af påviste pesticider (MAM-sum)/5/.

Konceptuelle modeller

Tilstandsvurderingen baserer sig på den konceptuelle forståelsesmodel, der anvendes til såvel de maskinelle vurderinger af alle grundvandsforekomster som de konkrete undersøgelser for de maskinelt afgrænsede grundvandsforekomster i 'potentielt ringe' tilstand (se næste afsnit). De konkrete undersøgelser for grundvandsforekomster i 'potentielt ringe' tilstand bestod i en systematisk vurdering af de konkrete pesticiddata i grundvandsforekomsten set i lyset af den konceptuelle forståelsesmodel for pesticider. Dette princip tager udgangspunkt i direktivteksten, hvor der lægges op til, at vurderingen af omfanget af påvirkninger af grundvandsforekomsterne også kan inddrage skønnede koncentrationer baseret på en konceptuel model. Hermed bliver den konceptuelle forståelsesmodel helt central for tilstandsvurderingen.

Den konceptuelle forståelsesmodel blev således anvendt til at skønne koncentrations-

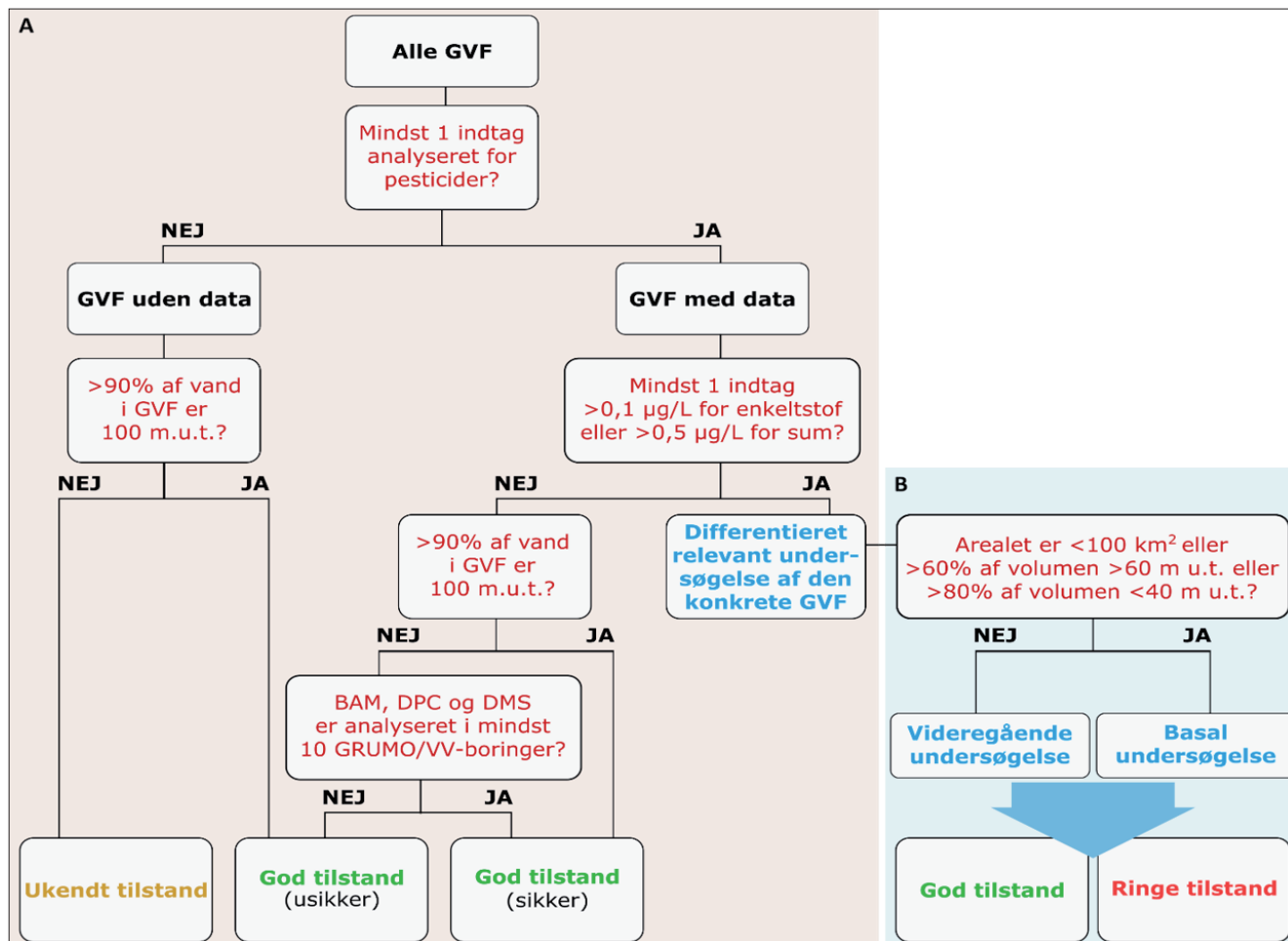
fordelingen for den samlede grundvandsforekomst, herunder også i de dele af grundvandsforekomsten, hvorfra der ikke forelå målinger og samtidig vurdere repræsentativiteten af de tilgængelige pesticidanalyser.

Hvis det blev vurderet gennem den konkrete undersøgelse, at mindre end 20 % af grundvandsforekomstens volumen var påvirket med pesticider, der overskrider grundvandskvalitetskravet, blev grundvandsforekomsten klassificeret i 'god' tilstand, hvilket er den danske implementering af /3/ og /4/.

Den konceptuelle forståelsesmodel er baseret på GEUS faglige arbejde med pesticider i såvel grundvandsovervågningen som den pesticidforskning, der finder sted på GEUS. De væsentligste hovedpunkter er:

- Få betydende pesticider forklarer hovedparten af fund.
- Dybdeforholdene i grundvandsforekomsten er den vigtigste risikofaktor, idet koncentrationerne falder med dybden.
- 30 % af volumen af det terrænnære grundvand (ned til 40 m u.t.) indeholder et eller flere pesticider over 0,1 $\mu\text{g/l}$ fra diffuse kilder.
- Pesticidbelastning kan opdeles på landbrug, by, skovbrug og natur.
- Der er ingen pesticidpåvirkning under vedvarende naturområder.
- Gamle skove medfører ikke nogen pesticidpåvirkning, mens nyere plantager bidrager noget.
- Opadrettet hydraulisk gradient beskytter mod pesticider.
- Ingen simpel sammenhæng til dæklagstykkelse og geologisk heterogenitet.
- Undtagelsen er, at skrånede geologiske lag øger sårbarheden.

Den vigtigste forklarende faktor for forde-



Figur 1 (A) Beslutningstræ til maskinel sortering af grundvandsforekomster. (B) Den efterfølgende opdeling af den differentierede relevante undersøgelse for grundvandsforekomster maskinelt vurderet 'potentielt ringe' i henholdsvis en basal og en videregående undersøgelse /5/.

ling af pesticider i grundvandet viste sig at være indtogsdybden, hvilket er i overensstemmelse med grundvandsrapporten/8/.

Der er god overensstemmelse mellem den konceptuelle forståelsesmodel og de anvendte data for pesticider i tilstandsvurderingen, bortset fra data fra punktkilder. BAM, DPC og DMS er de pesticidstoffer, som har de højeste fundhyppigheder, og disse tre stoffer var indledningsvis udvalgt som 'betydende pesticider', hvor der under de konkrete undersøgelser af de enkelte grundvandsforekomster blev set på om disse stoffer var analyseret. Når der manglede data for de betydende pesticider, blev pesticidpåvirkningen vurderet mindre sikker /5/.

BAM (2,6-dichlorbenzamid) findes stort set i hele Danmark. Høje koncentrationer over kvalitetskravet findes i dag primært i Depotindtag. Data fra grundvandsovervågningen viser generelt en faldende tendens for grundvandets påvirkning med BAM /8/. DPC (desphenylchloridazon) findes især i landbrugsområder med tidligere udbredt roedyrkning, og DMS (N,N-dimethylsulfamid) er især tilknyttet bymæssige bebyggelser og biocidanvendelse i forbindelse med maling af træværk.

Maskinel tilstandsvurdering og konkrete undersøgelser

Den maskinelle tilstandsvurdering består af to trin.

1. I første trin (figur 1A) gennemgås alle grundvandsforekomster og tildeles en maskinel tilstand: 'Ukendt', 'god(sikker)', 'god(usikker)' og 'potentielt ringe'. Alle grundvandsforekomster i 'potentielt ringe' tilstand skal efterfølgende gennemgå en konkret undersøgelse, hvorefter den endelige tilstand fastlægges, mens den maskinelle tilstand er den endelige tilstand for de øvrige grundvandsforekomster.
2. I andet trin (figur 1B) vurderes det, om den konkrete undersøgelse skal bestå af en basal eller videregående undersøgelse, idet der for grundvandsforekomster, der kan være vanskelige at vurdere, anvendes en videregående undersøgelse.

Det fremgår af beslutningstræet, at alle grundvandsforekomster, hvor der er mindst én MAM-overskridelse af grundvandskvalitetskravet på 0,1 µg/l for enkeltstoffer (eller sumværdien MAM-sum) skal gennemgå en konkret undersøgelse, se figur 1B. Hvis det kunne

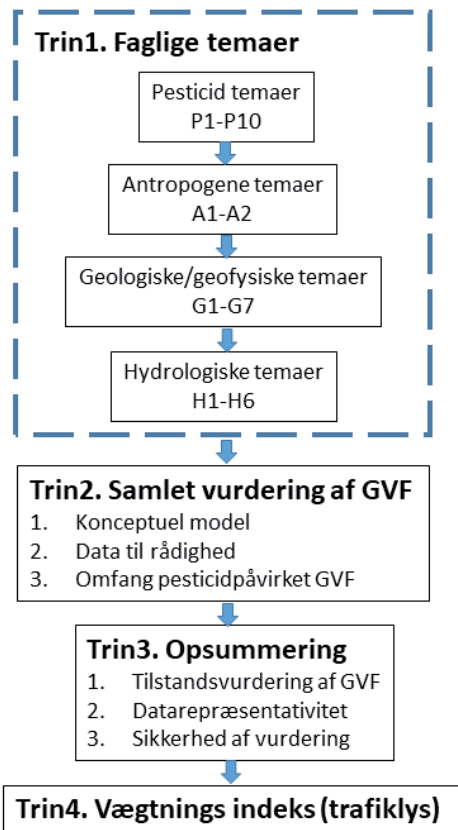
vurderes ved en konkret undersøgelse, at påvirkningen med pesticider i koncentrationer over grundvandskvalitetskravene er af mindre omfang i en konkret grundvandsforekomst, så er tilstanden 'god' i denne grundvandsforekomst.

I forbindelse med gennemgangen af data blev det klart, at ingen grundvandsforekomster har tilknyttet indtag med en overskridelse af grundvandskvalitetskravet for sumværdien (MAM-sum) på 0,5 µg/l, uden der samtidig er en overskridelse af grundvandskvalitetskravet for enkeltstoffer i et andet indtag i samme grundvandsforekomst. Samlet set var der kun ét indtag, hvor der var en overskridelse af sumværdien, men ikke en overskridelse af grundvandskvalitetskravet for enkeltstoffer, udtrykt ved Max-MAM.

Den trinvis metode for den konkrete undersøgelse

Figur 2 viser de fire trin i den konkrete undersøgelse af grundvandsforekomster i 'potentielt ringe' tilstand. Metoden bygger på metoden udviklet til kemisk tilstandsvurdering af grundvandsforekomster for nitrat /7/, og er nærmere beskrevet i /5/, hvori de er

Metode



Figur 2 Tilstandsvurderingen: Trinvis metode for opstilling af en konkret konceptuel model og vurderingen af omfanget af pesticidpåvirkning i de enkelte grundvandsforekomster i 'potentielt ringe' tilstand /5/.

enkelte trin i metoden for tilstandsvurdering for pesticider gen-nemgås. Hele vurderingen sammenfattes i det såkaldte dokumentationsark, hvor alle væsentlige iagttagelser og konklusioner noteres på en systematisk måde. For hver af de 279 grundvandsforekomster blev der af et tværfagligt team opstillet en konkret konceptuel model med en tilhørende tilstandsvurdering og vurdering af datagrundlagets repræsentativitet.

I trin 1 gennemgås de faglige temaer, som vurderingen baseres på. De faglige temaer omfatter data fra fire faglige hovedområder: pesticider, antropogene faktorer, geologi/geofysik og hydrologi/hydrogeologi præsenteret enten som grafer, tværsnit eller kort evt. med et relevant baggrundstema.

I trin 2 opstilles den konkrete konceptuelle model for den aktuelle grundvandsforekomst, og der laves en vurdering af kvaliteten og repræsentativiteten af de data, der er til rådighed. Derudover vurderes omfanget af påvirkningen af grundvandsforekomsten med pesticidkoncentrationer over grundvandskvalitetskravene.

I trin 3 opsummeres i en tredelt klassifika-

tion: tilstanden af grundvandsforekomsten (god/ringe/ukendt); datarepræsentativitet (god/mellem/ringe) og sikkerheden (stor/mellem/ringe).

Endeligt vægtes betydningen af de forskellige faglige temaer i trin 4. På Vandplandata.dk vil materialet kunne genfindes for alle 279 undersøgte grundvandsforekomster.

Grundvandsdirektivet muliggør, at grundvandsforekomster med en påvirkning af 'mindre omfang' kan være i god tilstand. Dette betyder i praksis, at det skal vurderes, om pesticidkoncentrationerne overskrider grundvandskvalitetskravene i mindre end 20 % af grundvandsforekomstens volumen, jf. EU CIS-Guidance document no. 18 /4/. Grundvandsforekomster med overskridelse af grundvandskvalitetskravet, hvor det vurderes, at dette er repræsentativt for mere end 20 % af det samlede volumen af grundvandsforekomsten, tildeles tilstanden 'ringe'.

Den udviklede metode har vist sig som en effektiv måde at få opstillet en konkret konceptuel model for hver grundvandsforekomst og dokumenteret processen herfor. Metoden har yderligere vist sig robust i forhold til at håndtere det meget heterogene datagrundlag, der ligger til grund for tilstandsvurderingerne. For samtlige faglige temaer gælder, at datatætheden for de anvendte data varierer meget både mellem grundvandsforekomsterne og indenfor grundvandsforekomsterne. Den valgte metode giver rum til at håndtere dette, og ikke mindst til kvalitativt at beskrive de usikkerheder, der knytter sig til såvel datagrundlag som de hydrostratigrafiske modeller.

Resultat af Tilstandsvurdering

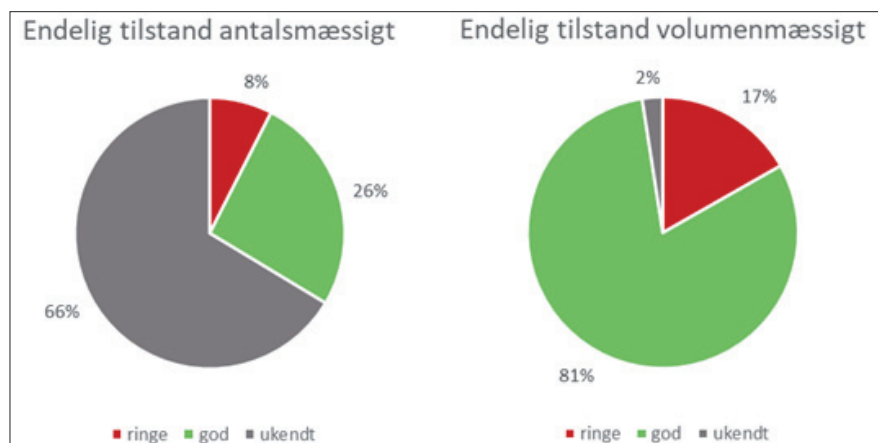
Der er indledningsvist udført en maskinel sortering og tilstandsvurdering af de 2.050 grundvandsforekomster ud fra beslutningstræet, se figur 1. Heraf blev 410 grundvandsfore-

komster placeret i kategorien 'god' tilstand og 1.361 i kategorien 'ukendt' tilstand. De resterende 279 grundvandsforekomster blev placeret i kategorien 'potentielt ringe' tilstand, og disse grundvandsforekomster blev efterfølgende underkastet en konkret undersøgelse baseret på de faglige temaer ved den endelige tilstandsvurdering i forbindelse med afholdelse af en række faglige workshops.

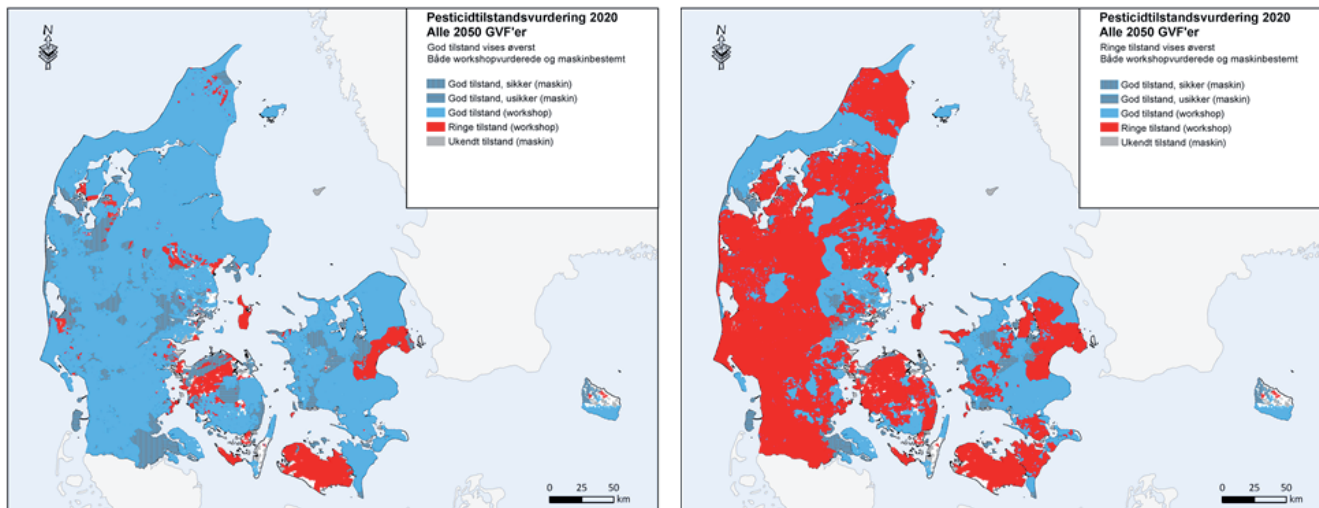
Det har været en vigtig del af kvalitetssikringen af arbejdet, at alle procedurer er så gennemskuelige som muligt. Derfor er der udarbejdet en grafisk afbildning af beslutningstræet, se figur 1, der ligger til grund for tilstandsvurderingerne, for at synliggøre de algoritmer, der er anvendt i arbejdet. Det ovenfor beskrevne dokumentationsark har til formål at sikre en ensartet undersøgelse af alle grundvandsforekomster ved de konkrete undersøgelser, hvor alle væsentlige iagttagelser fra de faglige temaer noteres på en systematisk måde, lige som dokumentationsarket sikrer en ensartet opstilling af den konkrete konceptuelle model og tilstandsvurdering /5/.

Ud af de 279 grundvandsforekomster blev de 125 vurderet til at være i 'god' tilstand og 154 i 'ringe' tilstand. Samlet set har tilstandsvurderingen med hensyn til pesticider til vandområdeplan 3 resulteret i, at 535 grundvandsforekomster er vurderet i 'god' tilstand, 154 grundvandsforekomster vurderet i 'ringe' tilstand og 1361 grundvandsforekomster er i 'ukendt' tilstand. Da det hovedsageligt er små forekomster, der er uden data og derfor i ukendt tilstand, er den volumenmæssige fordeling af grundvandsforekomsterne ud fra grundvandsforekomsterens volumen i DK-modellen, at 81 volumen % er i 'god' tilstand, 17 volumen % i 'ringe' tilstand og 2 volumen % i 'ukendt' tilstand, se figur 3.

Samlet set førte de konkrete undersøgelser til, at et væsentligt mindre volumen af grund-



Figur 3. Tilstandsvurdering for pesticider for 2.050 grundvandsforekomster. Til venstre opgjort for antal grundvandsforekomster til højre på volumen af grundvandsforekomsterne i DK-modellen /5/.



Figur 4. Samlet oversigt over pesticidtilstand for alle 2.050 grundvandsforekomster. Grundvandsforekomsterne til venstre er sorteret, så 'god' tilstand vises øverst, dernæst 'god tilstand (sikker)', 'god tilstand (usikker)', 'ringe' tilstand og 'ukendt' tilstand nederst, mens de til højre er sorteret så 'ringe' tilstand vises øverst, dernæst 'god' tilstand, 'god tilstand (sikker)', 'god tilstand (usikker)' og 'ukendt' tilstand nederst. /5/

vandsforekomster er vurderet i 'ringe' tilstand sammenlignet med det volumen, der efter den maskinelle vurdering indledningsvist blev kategoriseret som i 'potentielt ringe' tilstand.

De 2.050 grundvandsforekomsterne er udpeget på baggrund af magasiner i DK-modellen /6/ og /9/. Grundvandsforekomsterne kan derfor ligge oven på hinanden. En geografisk præsentation af det samlede resultat vil derfor være afhængig af, hvordan man har sorteret grundvandsforekomsterne, se figur 4. I det meste af Danmark træffes grundvandsforekomster i ringe tilstand i de terrænnære grundvandsforekomster, mens de regionale og dybe grundvandsforekomster er mindre sårbare og vurderes i god tilstand /5/.

Relationen mellem dybden til grundvandsforekomsten og tilstandsvurderingen kan ret

entydigt sammenfattes således, at grundvandsforekomster i 'ringe' tilstand primært består af kvartære sandmagasiner (DK-model-lag ks1-ks4) med en middeldybde fra få meter til maksimum 40 meters dybde, mens grundvandsforekomster i 'god' tilstand viser meget større variation i middeldybde og er fordelt på alle bjergartstyperne.

De betydende pesticider (BAM, DPC og DMS), som fastlagt i den konceptuelle forståelsesmodel, var de pesticider, der hyppigst gav anledning til 'ringe' tilstand. Generelt var det overvejende pesticider, der i dag er forbudte, der var årsag til udpegning af grundvandsforekomsterne i 'ringe' tilstand. Det er imidlertid usikkert, hvor længe disse pesticider fortsat vil være til stede i grundvandsforekomsterne, da det dels afhænger af fortynding

og nedbrydning i grundvandet, og dels afhænger af, hvor længe der fortsat vil ske udvaskning af disse pesticider og deres nedbrydningsprodukter fra de øvre jordlag.

Referencer:

- /1/ Miljøstyrelsen, 2021: Tilstanden i det danske vandmiljø. Vand og Jord nr. 3, 2021.
- /2/ EU, 2000: Europaparlamentets og Rådets Direktiv 2000/60/EF af 23. oktober 2000 om fastlæggelse af en ramme for Fællesskabets vandpolitiske foranstaltninger med senere ændringer (Vandrammedirektivet).
- /3/ EU, 2006: Europaparlamentets og Rådets Direktiv 2006/118/EF af 12. december 2006 om beskyttelse af grundvandet mod forurening og forringelser (Grundvandsdirektivet).
- /4/ EU, 2009: Guidance Document No. 18 Guidance on groundwater status and trend assessment. Technical

Faktanoks: Kemisk tilstand for grundvand.

Til vandplan 3 er der fastsat en generel kemisk tilstand for en lang række stoffer i grundvandet.

De vigtigste stofgrupper er:

Nitrat, Pesticider, sporstoffer og organiske forureninger.

Nitrat stammer almindeligvis fra kvælstofoverskuddet i landbruget, og der er i direktiverne fastsat et grundvandskvalitetskrav på 50 mg/l.

Pesticider er anvendt både i landbruget, skovbruget og i byer, da også biocider i bygningsmaterialer som træbeskyttelsesmalinger, hører hjemme under begrebet pesticider.

Der er i direktiverne fastsat et grundvandskvalitetskrav på 0,1 µg/l for alle pesticider.

Sporstoffer som arsen, nikkel og kobber er typisk naturligt forekommende, men der kan være lokale forhold som giver anledning til forurening. Hvis der er naturligt høje koncentrationer, betragtes tilstanden som god, idet der skal kun påvirkninger af grundvandet fra menneskelige aktiviteter kan være årsag til at der er ringe tilstand.

De organiske forureninger er stoffer som klorerede opløsningsmidler, perfluorerede stoffer (PFAS) mm. Selv om der

lokalt kan være meget store forureninger, vil disse som regel være af mindre betydning på grundvandsforekomstniveau.

Resultaterne af tilstandsvurderingerne kan findes på Miljøstyrelsens hjemmeside :

<https://mst.dk/natur-vand/vandmiljoe/vandomraadeplaner/vandomraadeplaner-2021-2027/basisanalyse-for-vandomraadeplaner-2021-2027/>.

Rapporter om tilstandsvurdering for nitrat, pesticider og sporstoffer, samt den kvantitative tilstandsvurdering til vandplan 3 kan findes her:

[https://www.geus.dk/vandressourcer/vandforvaltning Rapport om tilstandsvurdering for organiske miljøfremmede stoffer](https://www.geus.dk/vandressourcer/vandforvaltning/Rapport%20om%20tilstandsvurdering%20for%20organiske%20miljofremmede%20stoffer) kan findes her:

<https://www.geus.dk/vandressourcer/vandforvaltning>
https://backend.orbit.dtu.dk/ws/files/255387060/Hovedrapport_MFS_final.pdf

- Report-2009-026.
- /5/ Thorling, L., Nilsson, B., Møller, I., Bollmann, U.E., Johnsen, A.R., & Troldborg, L., 2021: Dokumentations-rapport, Udvikling af metode og gennemførelse af vurderinger for de danske grundvandsforekomsters kemiske tilstand for pesticider. GEUS-rapport 2021/15. <https://www.geus.dk/Media/637607182688977856/Udvikling%20af%20metode%20og%20gennemf%20af%20vurderinger%20for%20de%20danske%20grundvandsforekomsters%20kemiske%20tilstand%20for%20pesticider.pdf>
- /6/ Stisen, S., Ondracek, M., Troldborg, L., Schneider, R. J. M. & van Til, M. J.: National Vandressource Model. Modelopstilling og kalibrering af DK-model 2019. GEUS-rapport 2019/31. https://vandmodel.dk/media/8096/geusrapport2019_31_dkmodel2019_web-1.pdf
- /7/ Thorling, L., Møller, I., Nilsson, B., Sandersen, P. & Troldborg, L., 2019: Dokumentationsrapport, Nitrat-tilstand for grundvandsforekomster, metodeudvikling. Miljøstyrelsens projekt 'Udvikling af metode for re-levante undersøgelser for vurdering af nitratpåvirkning af grundvandsforekomsterne (GVF) □ Leverance 7'. GEUS-rapport 2019/6. <https://www.geus.dk/media/6844/dokumentationsrapport-nitrattilstand-for-grundvandsforekomster-metodeudvikling-2019-2.pdf>
- /8/ Thorling, L., Ditlefsen, C., Ernsten, V., Hansen, B., Johnsen, A.R., & Troldborg, L. 2021: Grundvand. Status og udvikling 1989 – 2019. Teknisk rapport, GEUS 2021. <https://www.geus.dk/Media/2/1/Grundvandsoverv%C3%A5gning%201989-2019.pdf>
- /9/ Troldborg, L., 2020: Afgrænsning af de danske grundvandsforekomster. GEUS rapport 2020/1, København. https://www.geus.dk/Media/2/5/GEUSrapport_2020_1_GVF_afgrænsning_web.pdf
- Alle forfattere er ansat på GEUS, De Nationale geologiske undersøgelser for Danmark og Grønland.
LÆRKE THORLING, Its@geus.dk: Chefkonsulent, geokemiker. BERTEL NILSSON, bn@geus.dk: Seniorforsker, hydrogeolog. INGELISE MØLLER, ilm@geus.dk: Seniorforsker, geofysiker. LARS TROLDORG, ltr@geus.dk: Specialkonsulent, hydrolog og modellør. ULLA BOLLMANN, ueb@geus.dk: Seniorforsker, miljøkemiker. ANDERS JOHNSEN, arj@geus.dk: Seniorforsker, biologi og miljøkemi

Om denne artikel

Tilstandsvurderinger for pesticider er et led i den samlede tilstandsvurdering af grundvandsforekomster i Danmark for en række forskellige stoffer fx. nitrat og miljøfarlige stoffer. Der er mere information om tilstandsvurderingerne på MiljøGIS (link) og i artikel fra Miljøstyrelsen i Vand & Jord nr. 3, 2021 (dette nummer).