



# Administrative retningslinjer for hydrologisk modellering og beregning af indvindingsoplande og grundvandsdannende partikler

Udgiver: Miljøstyrelsen

Redaktion: Miljøstyrelsen

ISBN: 978-87-7038-634-0

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

Må citeres med kildeangivelse

# Indhold

<b>1.</b>	<b>Introduktion</b>	<b>4</b>
<b>2.</b>	<b>Eksterne reviews</b>	<b>5</b>
<b>3.</b>	<b>Valg af hydrologisk model</b>	<b>6</b>
<b>4.</b>	<b>Modelopsætning, kalibrering og validering</b>	<b>7</b>
4.1	Modelrand	7
4.2	Horisontal diskretisering	7
4.3	Modelbund: Salt grundvand	7
4.4	Modelbund kalk	7
4.5	Vertikal diskretisering	7
4.5.1	Vertikal diskretisering: Kalk	7
4.5.2	Vertikal diskretisering: Partiel filtersætning	8
4.6	Effektiv porøsitet	8
4.7	Indledende partikelberegning	8
4.8	Kalibrering og validering	9
<b>5.</b>	<b>Simuleringsscenarier</b>	<b>10</b>
<b>6.</b>	<b>Resultater til anvendelse i grundvandskortlægningen</b>	<b>12</b>
6.1	Indvindingsoplande	12
6.1.1	Oplande til en kildeplads	12
6.1.2	Partikelbanesimulering	12
6.1.3	Optegning af administrative indvindingsoplande	13
6.1.4	Grundvandsdannende opland	13
6.1.5	Indvindingsoplande iht. Jordforureningsloven ved påvirkning fra afværgepumpning	14
6.2	Grundvandsdannelse og tykkelse af umættet zone	14
6.3	Magasinspecifikke potentialekort	15
6.4	Afreportering	15
<b>7.</b>	<b>Referencer</b>	<b>16</b>
<b>Bilag 1. Beregning af indvindingsopland og BNBO til (midlertidige) inaktive, reserve- og nødforsyningsboringer</b>		<b>17</b>
<b>Bilag 2. Partikelbanesimulering – Placering af startpartikler</b>		<b>18</b>
Bilag 2.1	Simulering i MIKE SHE	18
Bilag 2.2	Simulering i MODFLOW	18

# 1. Introduktion

Miljøstyrelsens grundvandskortlægning anvender rutinemæssigt hydrologiske modeller til beregning af indvindingsoplande og grundvandsdannende partikler.

Kortlægningen skal følge de til enhver tid gældende kravspecifikationer, vejledninger og faglige og administrative retningslinjer, herunder kvalitetssikringsprocedurer, som kan tilgås fra Miljøstyrelsens hjemmeside /1/.

Vedrørende hydrologiske modeller til beregning af indvindingsoplande og grundvandsdannende partikler er der særligt fokus på, at beregningerne og områdeafgrænsningen og dokumentationen heraf udføres i overensstemmelse med følgende dokumenter

- a) Administrative retningslinjer for hydrologisk modellering og beregning af indvindingsoplande og grundvandsdannende partikler (nærværende dokument)
- b) Geo-vejledning 2017/1: Hydrologisk vejledning /2/.
- c) Håndbog i grundvandsmodellering /3/.

Formålet med nærværende dokument er at give supplerende, mere præcise retningslinjer, end der er angivet i /2/ og /3/, med henblik på at modelleringsarbejdet og dokumentationen heraf udføres mere ensartet, i henhold til nogle fagligt funderede administrative beslutninger.

## 2. Eksterne reviews

Som et led i kvalitetssikringen af modelleringsarbejdet skal der foretages eksterne reviews i løbet af modelleringsprocessen.

### 3. Valg af hydrologisk model

Ambitionsniveauet er detailmodellering. Afsnit 5.1 i /2/ omhandler de faglige overvejelser, der skal foretages i forbindelse med valget af hydrologisk model.

Beregningerne skal foretages med MIKE SHE eller MODFLOW.

MODFLOW-modeller skal leveres i brugerfladerne GMS eller Groundwater Vistas. Tilladelses-scenarie-modellen skal desuden leveres som en "native text copy", således at MODFLOW-modellen kan anvendes uafhængigt af GMS.

Ud over ovennævnte faglige overvejelser, spiller ressourcemæssige og tidsmæssige overvejelser ind på valget af hydrologisk model.

# 4. Modelopsætning, kalibrering og validering

## 4.1 Modelrand

Det er vigtigt at tage stilling til, om modelområdet er tilpas stort til, at de valgte randbetingelser ikke får uønsket indflydelse på beregningsresultaterne (jf. afsnit 4.2 i /3/), herunder udstrækningen af de beregnede indvindingsoplade og grundvandsdannende partikler.

## 4.2 Horisontal diskretisering

Der anvendes en horisontal diskretisering på maksimalt 100 m x 100 m ved beregning af indvindingsoplade og grundvandsdannende partikler.

## 4.3 Modelbund: Salt grundvand

De grundvandsmodeller, der anvendes i grundvandskortlægningen, simulerer normalt kun ferskvandsstrømning. Grænsefladen mellem fersk grundvand og underliggende, tungere saltvand simuleres typisk med en no-flow randbetingelse, der udgør modelbunden, hvilket svarer til en antagelse om, at grænsefladens beliggenhed er relativ stabil, svarende til at overgangszonen er relativ tynd. Såfremt det vurderes, at grænsefladens beliggenhed er ustabil, svarende til at overgangszonen er relativ tyk, og det har betydning i forhold til formålet med simuleringen, bør grænsefladen ikke repræsenteres med en no-flow randbetingelse. Der kan i stedet eksempelvis anvendes specialkoder, der kan simulere en skarp grænse uden blanding af ferskvand og saltvand, eller kan simulere opblanding og strømning i grænsefladen ved at inkludere densitetseffekter og dispersion (jf. s. 140 i /13/).

Som et led i modelopsætningen bør beliggenheden og stabiliteten af grænsefladen mellem ferskvand og saltvand vurderes. Dette kan f.eks. baseres på målinger af resistivitet, ledningsevne og kloridkoncentration. Fastlæggelsen af grænsefladens beliggenhed kan typisk ikke gøres præcist, idet kloridkoncentrationen typisk stiger gradvist med dybden.

## 4.4 Modelbund kalk

Grundvandsstrømningen i kalkaflejringer foregår primært i sprækkerne. Opsprækningsgraden, og dermed vandføringsevnen, aftager normalt med dybden. I de grundvandsmodeller, der anvendes i grundvandskortlægningen, simuleres kalkaflejringerne typisk med to beregningslag, hvor det øverste beregningslag svarer til kalk, med en høj opsprækningsgrad og det nederste beregningslag svarer til kalk med en lavere opsprækningsgrad. Bunden af det nederste beregningslag udgør modelbunden. I de tilfælde, hvor opsprækningen aftager gradvis med dybden, kan beliggenheden af modelbunden ikke fastlægges præcist. Kalkmagasinerne er dog som regel begrænset nedadtil af salt grundvand, hvorfor modelbunden kan fastsættes ud fra beliggenheden af grænsefladen mellem ferskvand og saltvand, se afsnit 4.3 ovenfor.

## 4.5 Vertikal diskretisering

### 4.5.1 Vertikal diskretisering: Kalk

Ved fastlæggelsen af beregningslagtykkelsen af det/de opsprækkede vandførende lag i opsprækket kalk, der skal anvendes i den hydrologiske model, bør kalktype, flowlogs, MRS og filterlængde inddrages i overvejelserne.

#### 4.5.2 Vertikal diskretisering: Partiel filtersætning

Ved indvindingsboringer med partiel filtersætning i relativt tykke magasinlag anbefales det at underinddele magasinlagene i flere beregningslag (jf. afsnit 5.13 Vurdering af model egnethed i /2/). Formålet med dette er at kunne simulere potentialefeltet og dermed hastighedsfeltet bedre omkring filtrene, hvilket danner grundlag for bedre partikelbaneberegninger.

#### 4.6 Effektiv porøsitet

I tabel 19 i /2/ er angivet et spænd for effektiv porøsitet i danske aflejringer. Baseret herpå er i nedenstående Tabel 1 givet de tilsvarende anbefalede effektive porøsitetsværdier, der skal anvendes ved beregning af indvindingsoplande og grundvandsdannende partikler med **enkel-porøse** modeller, med mindre, at der er en velfunderet faglig begrundelse for at afvige herfra. Det kunne eksempelvis være, at der foreligger målinger af den effektive porøsitet baseret på tracerforsøg. Kvalitative sammenligninger med grundvandsaldre og stofkoncentrationer kan desuden give anledning til en tilpasning af den effektive porøsitet inden for det tilsvarende interval i tabel 19 i /2/. I forhold til dette fremgår det af /2/ (citater): "Det skal bemærkes at dette ikke ukritisk udelukkende bør føre til en kalibrering af porøsiteten indtil transporttiden passer med grundvandskemi/datering, da mange andre ting end porøsiteten kan påvirke eventuelle afvigelser".

Værdierne for kalk er baseret på /12/, i hvilken der for 3 syntetiske enkeltporøse modeller, der repræsenterer hver sin gruppe af kalkaflejringerne i Danmark, rapporteres tilsvarende 3 effektive porøsiteter på BNBO-skala, dvs. på en skala på 1 års transporttid, på henholdsvis 11 %, 13 % og 17 %. På indvindingsoplandsskala, dvs. på en skala på op til 200 års transporttid, må den effektive porøsitet nødvendigvis være større end de ovennævnte værdier på BNBO-skala, og her er således arbitrært valgt en effektiv porøsitet på 20 % for opsprækket kalk og 30 % for ikke-opsprækket kalk, hvor sidstnævnte værdi svarer til den værdi for matrixporøsiteten, der blev anvendt i ovennævnte 3 syntetiske enkeltporøse modeller.

**TABEL 1.** Anbefalede effektive porøsitetsværdier ved beregning af indvindingsoplande og grundvandsdannende partikler. Delvis efter Tabel 1 i /5/.

Geologisk lag	Anbefalet effektiv porøsitet (%)
Ler	40
Moræneler	25
Silt (morænesilt)	40
Sand	30
Grus	27
Sand og grus (usortet)	25
Kalk – ikke opsprækket (matrixporøsitet)	30
Kalk – Opsprækket (en blanding af matrixporøsitet og sprækkeporøsitet)	20
Sandsten	15

#### 4.7 Indledende partikelberegning

Inden den egentlige kalibrering anbefales det, at foretage en partikelbaneberegning for at vurdere, om den hydrostratigrafiske model er fornuftig, bedømt ud fra, om partikelbanerne ser fornuftige ud både geografisk og på geologiske tværsnit.



## 4.8 Kalibrering og validering

Den hydrologiske model skal både kalibreres og valideres.

Kalibreringen og valideringen foretages både mod målte trykniveauer og vandføringsmålinger.

Hvis datagrundlaget vurderes at være utilstrækkeligt til at modellen både kan kalibreres og valideres, kan det undtagelsesvis accepteres at anvende alle data til kalibreringen, hvorved modellen ikke kan valideres.

Ved udvælgelse af datasæt til kalibrering og validering skal det indgå i overvejelserne, at der er sket metodeskift i nedbørsmåling og vandføringsmåling, der har bevirket, at der er homogenitetsbrud i disse tidsserier. Metodeskiftet i nedbørsmålingen har bevirket, at man skal have særlig fokus på at opdele nedbørsdata i perioden tilmed 2010 og perioden 2011 og frem (jf. /4/). Metodeskiftet i vandføringsmålingerne er beskrevet i /11/.

Kalibreringen og valideringen foretages mod både kvantitative og kvalitative mål. Her skal der bl.a. foretages en vurdering af, om der er anvendt realistiske parameterværdier i modelopsætningen jf. normalintervaller i /2/ og /3/, og om de simulerede potentialekort matcher de observerede potentialekort for de magasiner, vandværkerne indvinder fra. Det skal også vurderes, om den simulerede vandbalance er realistisk. Forud for kalibreringen bør der derfor konstrueres magasinspecifikke potentialekort og opstilles en eller flere vandbalancer for henholdsvis kalibreringsperioden og valideringsperioden.

Som et led i kvalitetssikringen af modellen anbefales, at der foretages en vejledende partikelbaneberegning af indvindingsoplandene, før scenarietkørslerne foretages. Resultaterne af den vejledende partikelbaneberegning sammenlignes med de eksisterende indvindingsoplande og ligheder og forskelle forklares. Uforklarlige forskelle, og uventede partikelbaner i øvrigt, kan eventuelt føre til, at forudsætningerne for beregningerne bør ændres.

Ambitionsniveauet er detailmodellering.

Hvis målene for kalibreringen og valideringen ikke kan opnås, skal der redegøres for, hvorfor de ikke kan opnås og hvad det betyder for anvendelsen af de beregnede indvindingsoplande og grundvandsdannende partikler.

## 5. Simuleringsscenarier

Scenarierne køres efter at modellen er kalibreret og valideret.

Der skelnes mellem scenarier, der *skal* køres og scenarier der *kan* køres, for at belyse usikkerheden på udstrækningen af indvindingsoplandene.

Scenarier der *skal* køres:

- Reference opland (kørsel med tilladelserne)
- Afværge scenarie ("indvindingsoplande iht. jordforureningsloven")

Scenarier der *kan* køres:

- Stokastisk (variationer i modellens hydrauliske parametre) med efterfølgende partikelbaneberegning og afgrænsning af stokastiske indvindingsoplande og/eller stokastiske grundvandsdannende partikler og/eller stokastiske BNBO
- Aktuel indvinding
- Alternative randbetingelser
- Klima/nettonedbør (f.eks. +/- 25 %, eller klimamodeller)
- Indvindingsstilladelse (f.eks. +/- 25 %)
- Porøsitet (min/max)
- Alternativ geologi

Miljøstyrelsen beregner som udgangspunkt kun indvindingsoplande og grundvandsdannende partikler for de almene vandværker, der har en gældende tilladelse i henhold til Jupiterdatabasen. Såfremt kommunen meddeler, at tilladelsen, der fremgår af Jupiterdatabasen, står for at blive ændret i nær fremtid, kan beregningerne med den nye påtænkte indvindingsstruktur dog foretages.

Der skal kun beregnes indvindingsoplande og grundvandsdannende partikler for tilladelsescenariet, dvs. hvor de almene vandværker indvinder den tilladte mængde.

Tilladelsescenarieberegningen skal være repræsentativ for det aktuelle klima. Typisk anvendes klimainputtet fra kalibreringsperioden eller valideringsperioden, hvor disse perioder er placeret inden for den seneste 30 årsperiode, svarende til klimanormalen.

Tilladelsescenarieberegningen/tilladelsescenariet er identisk med referencemodelkørslen nævnt i /2/.

I Bilag 1 er angivet retningslinjer om fastlæggelse af indvindingsfordelingen for tilladelsescenariet, herunder problematikken omkring borer registreret som inaktiv/reserve-/nødforsyningsboring, og/eller borer, som ikke forventes at blive anvendt som almen vandforsyningsboring.

Der kan være store forskelle mellem aktuel indvinding og tilladt indvinding, hvilket især er knyttet til markvanding og industrier med egen boring. Hvis der, for de indvindinger, der ikke er almene vandværker, over de seneste 5 år er stor forskel mellem den aktuelle indvinding og den tilladte indvinding, anvendes et gennemsnit af de seneste 5 års **aktuelle** indvinding i tilladelsescenariet, eller alternativt den aktuelle indvinding, hvis modellen er dynamisk. Ved manglende indberetning/historik anvendes den tilladte mængde i tilladelsescenariet.

Et eksempel på et scenarium er at belyse usikkerheden på indvindingsoplandenes udstrækning som følge af, at markvanderne anvender hele deres tilladelse. Det kan være relevant i områder, hvor indvindingen til markvanding er væsentlig større end indvindingen til almen vandforsyning.

Scenarierne kan også omfatte stokastiske kørsler, dvs. kørsler med forskellige parameterværdier, hvis man ønsker at belyse usikkerheden på indvindingsoplandenes udstrækning, som følge af usikkerheden på parameterværdierne. Dette kan være særligt relevant at udføre, hvis modellen ikke honorerer diverse mål for kalibreringen og valideringen.

# 6. Resultater til anvendelse i grundvandskortlægningen

## 6.1 Indvindingsoplande

I nærværende dokument bruges begrebet "fuldt udviklet indvindingsopland" og "administrativt indvindingsopland". Et fuldt udviklet indvindingsopland er defineret som et modelberegnet opland, hvor simulationstiden har været lang nok til, at oplandet ikke vil blive større, selv hvis man simulerer over en endnu længere periode. Et administrativt indvindingsopland er en delmængde af et fuldt udviklet indvindingsopland, hvor oplandet afgrænses ud fra en specificeret simuleret transporttid til indvindingsboringen, og tilføjes en sikkerhedsbuffer svarende til beregningsgridstørrelsen omkring partiklerne/partikelbanerne, for at kompensere for mulige usikkerheder.

### 6.1.1 Oplande til en kildeplads

Indvindingsoplande er per definition boringsspecifikke. Imidlertid kan oplande til en specifik kildeplads afgrænses som en foreningsmængde af oplandene til de individuelle boringer på kildepladsen. Det skyldes, at boringer på en kildeplads ofte ligger så tæt på hinanden, at oplandet til de individuelle boringer overlapper hinanden.

Hvis der indvindes fra to eller flere magasiner, skal der imidlertid optegnes et opland for kildepladsen i forhold til hvert individuelt magasin, med mindre der er hydraulisk kontakt mellem magasinerne i hele oplandets udstrækning. Dette skal gøres, da der kan være forskellige strømningsretninger i hvert magasin, som påvirker udformningen og beliggenhed af oplandet, og det vil således være forkert at slå foreningsmængden af oplandene til boringer filtersat i forskellige magasiner sammen til ét samlet opland.

Optegningen af magasinspecifikke oplande er relateret til, at nitratsårbarheden skal afgrænses magasinspecifikt (jf. afsnit 3.1 i /8/).

### 6.1.2 Partikelbanesimulering

Det primære formål med partikelbanesimuleringerne er at beregne indvindingsoplande og grundvandsdannende partikler.

Herudover kan der være sekundære formål med partikelbanesimuleringerne. I afsnittet "Transporttidsfordeling" i afsnit 5.13 i /2/ er angivet retningslinjer for partikelbanesimuleringen, hvis det ønskes at få et korrekt billede af transporttidsfordelingen, eller hvis det ønskes at estimere fordelingen af grundvandsdannelsen til den aktuelle kildeplads. Førstnævnte er relevant, hvis man ønsker at vurdere, om der er overensstemmelse mellem modellens beregning af alderen på de partikler, der ender i indvindingsboringen, og vandkemiske parametre, såsom eksempelvis vandtype og tilstedeværelse af pesticider.

I afsnit 5.13 i /2/ er angivet overvejelser og anbefalinger vedrørende modellering af indvindingsoplande. Der skal træffes beslutninger om antal partikler, deres startplacering i modellen i tid og sted samt hvor ofte partikelpositionerne skal registreres i resultatfilen. Partikelbaneberegningerne sker med referencemodellen. Antal partikler og placering af disse kan ske ud fra erfaringer fra partikelbaneberegninger med tilsvarende hydrologiske modeller, med hvilke der er beregnet troværdige indvindingsoplande. Man bør benytte så mange partikler som muligt ved bestemmelse af oplande. Den ideelle partikelkonfiguration med hensyn til antal og placering er den, hvor tilføjelse af yderligere partikler ikke resulterer i et større opland. Oplandene

bliver bedre bestemt jo flere partikler man anvender, men der er også en begrænsning på, hvor mange partikler man i praksis kan håndtere, ikke mindst når det handler om efter-procesering af resultaterne i et GIS-miljø.

Grundet de mange muligheder for at placere startpartikler og for at registrere partiklerne i cellerne med indvinding, er det nødvendigt at den anvendte metodik beskrives i modelrapporten. Nærmere detaljer vedrørende placering af startpartikler, der skal tjene til inspiration, er givet i Bilag 2.

Der er typisk ikke sammenfald mellem indvindingsboringens filtertop og –bund og henholdsvis top og bund af den beregningscelle, hvor indvindingen er placeret. Det anbefales derfor at sondre mellem 1) alle de partikler/partikelbaner der ender (eller starter) i beregningscellen og 2) den delmængde af disse, der ender (eller starter) i filterintervallet. Baseret på en sammenligning af 1) og 2) vurderes, hvilke partikler/partikelbaner, der bedst repræsenterer indvindingsoplandet.

### 6.1.3 Optegning af administrative indvindingsoplande

Det administrative indvindingsopland skal optegnes ud fra resultaterne af tilladelsesscenarioet/referencekørslen. Det administrative opland skal afgrænses ved 200 års simuleret transporttid. Hvis der er gennemført stokastiske kørsler og der er afvigelse mellem det stokastiske opland og referenceoplandet, skal det stokastiske opland også inkluderes i det administrative opland. Det vil sige, de modelceller der indgår i oplandet i mere end eller lig med 80 % af de stokastiske kørsler skal indgå i det administrative opland sammen med oplandet beregnet ved referencekørslen – begge afgrænset ved 200 års simuleret transporttid. Oplandet beregnet ved referencekørslen skal dog altid rummes, så det betyder, at, at resultaterne fra de stokastiske oplandsberegninger kun kan gøre det administrative opland større, ikke mindre. Ved optegningen anvendes en sikkerhedsmargin, der svarer til længden af den største beregningscelle,  $\Delta x$ , der typisk er 100 m.

Proceduren for optegningen kan sammenfattes som følger, for det typiske tilfælde, hvor  $\Delta x = 100$  m:

Et givet administrativt indvindingsopland afgrænses som foreningsmængden af de arealer, der udgøres af henholdsvis: 1) en buffer på 100 m om partikelbanerne (linjer) eller partiklerne (punkter) 2) en bufferzone på 100 m om de beregningsceller, der indgår i indvindingsoplandet i mindst 80 % af de stokastiske kørsler samt 3) en bufferzone på 300 m om indvindingsboringerne.

Der foretages endeligt en eventuel udglatning af det beregnede opland.

Såfremt der er meget stor usikkerhed på placeringen af det administrative indvindingsopland, og denne usikkerhed ikke kan reduceres inden for det pågældende kortlægningsprojektets rammer, f.eks. ved indsamling af nye data, kan det ud fra en **konkret vurdering** komme på tale, at udvide det administrative indvindingsopland med arealer, hvor sandsynligheden for indvindingsopland er mindre end 80 %, efter samme optegningsprocedure som angivet ovenfor, blot med en lavere procentsats, eksempelvis 50 %. En sådan udvidelse kræver **MST-chefgodkendelse** af den konkrete vurdering.

### 6.1.4 Grundvandsdannende opland

Det grundvandsdannende opland er per definition en del af det fuldt udviklede indvindingsopland. I afrapporteringen skal de grundvandsdannende oplande repræsenteres ved simpel afbildning af partiklernes placering på terræn, der hvor de infiltrerer. Det betyder, at der ikke skal optegnes en polygon omkring partiklerne for det grundvandsdannende opland. Partiklerne skal tematiseres efter beregnet transporttid (transporttid: Transporttid for partikel i år jf. afsnit 13 i /7/).

Dette er vigtigt for at indikere, hvor længe vandet er om at nå fra terræn/det øvre vandspejl til en indvindingsboring. Selvom der kan være usikkerheder på beregnede transporttider, kan de relative transporttider (områder med længere transporttid, områder med kortere transporttid) være troværdige. Det anbefales, at grundvandsdannende oplande præsenteres som en del af vandværksbeskrivelserne i afrapporteringen af grundvandskortlægningen.

### **6.1.5 Indvindingsoplande iht. Jordforureningsloven ved påvirkning fra afværgepumpning**

Jf. /9/ skal der optegnes såkaldte indvindingsoplande iht. jordforureningsloven som foreningsmængden af et indvindingsopland hhv. påvirket og ikke påvirket af afværgepumpninger. Der skal derved laves en modelkørsel, hvor afværgepumpningerne er slukket og en modelkørsel, hvor afværgepumpningerne er tændte. Indvindingsoplandene benævnes "indvindingsoplande iht. jordforureningsloven" i det de udelukkende anvendes i forbindelse med jordforureningsloven og de tilhørende bekendtgørelser. Oplandene udstilles på Danmarks Arealinformation, Danmarks Miljøportal. Indvindingsoplande iht. jordforureningsloven er kun aktuelle for indvindingsoplande, der ligger uden for OSD. Det er kun relativt permanente afværgeboringer, der medtages og ikke private afværgepumpninger, der kan slukkes for fra dag til dag, fx vandværker med mindre kortvarige afværgepumpninger, som er en del af indvindingsstilladelsen. Der skelnes ikke mellem ejerskab.

## **6.2 Grundvandsdannelse og tykkelse af umættet zone**

Grundvandsdannelsen anvendes til afgrænsning af nitratfølsomme indvindingsområder jf. /8/, herunder beregningen af dybden til den øverste redoxgrænse (jf. afsnit 1.3 i /10/).

Af /8/ (afsnit 4. Nitratfølsomme indvindingsområder) fremgår det (citater):

"Grundvandsdannelsen beregnes med grundvandsmodellen og beregnes ved vandudvekslingen mellem umættet og mættet zone eller som den magasinspecifikke grundvandsdannelse (3D grundvandsdannelse), det vil sige fra umættet zone til toppen af drikkevandsmagasinet, se Geovejledning 2017/1 Hydrologisk vejledning ..."

Begreber og metodik er beskrevet i afsnit 5.14 i /2/.

Til beregningen af dybden til den øverste redoxgrænse indgår henholdsvis middel- og maksimumtykkelsen af den umættede zone samt vandudvekslingen mellem umættet og mættet zone,  $G_{sz}$ . I MIKE SHE terminologi er  $G_{sz}$  identisk med "Total recharge to SZ", mens  $G_{sz}$  er identisk med "RECHARGE" i MODFLOW terminologi.

Geografisk repræsenterer NFI forskellige drikkevandsmagasiner, men kun ét drikkevandsmagasin i vertikalplanet. Drikkevandsmagasinerne afgrænses i henhold til 3.1 i /8/. For hvert drikkevandsmagasin afgrænses NFI på baggrund af dets nitratsårbarhed og grundvandsdannelsen til det.

Jævnfør ovenstående citat kan afgrænsningen af NFI baseres på enten: 1)  $G_{sz}$  eller 2) en særskilt beregnet magasinspecifik grundvandsdannelse  $MGi$  for hvert drikkevandsmagasin, hvor indeks  $i$  angiver et specifikt magasin, fx FOHM1200.

Ved vurderingen af, om et areal skal være NFI (nedadrettet flux) eller ej (opadrettet flux eller flux = 0) indgår den samme arealdistribuerede flux ( $G_{sz}$ ) for alle de afgrænsede drikkevandsmagasiner i tilfælde 1).

I tilfælde 2) indgår en særskilt beregnet magasinspecifik flux for hvert af drikkevandsmagasinerne.

Beregningen af den magasinspecifikke grundvandsdannelse er baseret på partikelbaneberegninger, hvor partiklernes bane fra startpositionerne ved terræn (det øverste grundvandsspejl i modellen) til magasinet beregnes.

Det anbefales at placere partiklerne i et regulært mønster i bunden af beregningslag 1 og at anvende fluxen til toppen af beregningslag 1 ved beregningen af MG<sub>i</sub>. Denne anbefaling er baseret på resultater fra december 2023 af simuleringer med en dynamisk MIKE SHE model fra et pilotprojektområde dækkende Fyn /14/.

I /14/ beskrives også en indledende analyse af en anden metode til beregning af magasinspecifik grundvandsdannelse, hvor partiklerne tilføres fra en kilde (source) i en periode. Baseret på resultaterne af denne indledende analyse vurderes, at der bør foretages en mere tilbunds-gående analyse af, hvordan MIKE SHE foretager beregningerne, før denne "source"-metode eventuelt tages i anvendelse i grundvandskortlægningen.

Vandudvekslingen mellem umættet og mættet zone eller de magasinspecifikke grundvandsdannelser (flux: Rate for vandtilførsel fra terræn til magasinet i millimeter per år, jf. afsnit 07 i /7/), der skal anvendes ved afgrænsningen af NFI, præsenteres i afrapporteringen af den hydrologiske model (se eksempel i figur 11 i /2/).

Herudover præsenteres de beregnede vandudvekslinger (flux: Rate for vandtilførsel fra ovenliggende laggrænse til magasin i millimeter per år, jf. afsnit 08 i /7/) i afrapporteringen af den hydrologiske model (se eksempel i figur 11 i /2/).

### **6.3 Magasinspecifikke potentialekort**

De beregnede magasinspecifikke potentialekort for de magasiner de almene vandværker indvinder fra, præsenteres i afrapporteringen af den hydrologiske model. Et givent magasinspecifikt potentialekort kan afrapporteres som et grid, der kun har værdier, hvor magasinet eksisterer. De tilsvarende potentialelinjer skal afrapporteres i formatet beskrevet i afsnit 06 i /7/ med en passende ækvidistance.

### **6.4 Afrapportering**

Modelopsætning(er), modelrapport og GIS-filer afrapporteres i henhold til MST-GKO's kravspecifikationer til hydrologisk modellering, herunder MST-GKO's Vejledning til dataaflevering /7/. Med henblik på at sikre, at det er den rigtige modelopsætning, der er afleveret, anbefales, at der også afleveres udvalgte resultatfiler. Såfremt der arbejdes videre med modelopsætningen kan resultatfilerne sammenlignes med de afleverede resultatfiler, hvor resultaterne helst skulle være de samme, med mindre der er ændret i modelopsætningen.

De afrapporterede GIS-filer i henhold til /7/ bør være afbildet på kortfigurer i modelrapporten for at sikre, at der arbejdes videre med de rigtige GIS-filer.

## 7. Referencer

- /1/ <https://mst.dk/natur-vand/vand-i-hverdagen/grundvand/grundvandskortlaegning/saadan-kortlaegger-vi-grundvandet/>
- /2/ Henriksen, H. J., Trolborg, L., Sonnenborg, T., Højberg, A. L., Stisen, S., Kidmose, J. B. & Refsgaard, J. C.: Geo-vejledning 2017/1: – Hydrologisk vejledning. GEUS 2017.
- /3/ Sonnenborg, T. O & Henriksen, H. J., 2005: Håndbog i Grundvandsmodellering (GEUS rapport 2005/80)
- /4/ DMI, 2021: Undersøgelser af DMI's nedbørsdata til anvendelse for hydrologiske formål. Af-rapportering til Miljøministeriet. Teknisk rapport 21-40.
- /5/ Naturstyrelsen, 2014. Notat: Præcisering af anbefalinger i Geo-Vejledning 2 mht. afgrænsning af indvindings- og grundvandsdannende oplande. Oktober 2014.
- /6/ Miljøstyrelsen, 2020. BNBO Beregningsprocedure.
- /7/ Miljøstyrelsen, 2021. Vejledning til dataaflevering. v1.4, Aalborg 24-06-2021  
[https://edit.mst.dk/media/1s0bleza/grukos\\_dataaflevering\\_vejledning\\_v14.pdf](https://edit.mst.dk/media/1s0bleza/grukos_dataaflevering_vejledning_v14.pdf)
- /8/ Miljøstyrelsen, 2021. Nitratsårbarhed og afgrænsning af NFI og IO. Grundvandskortlægning. Juli 2021  
[https://mst.dk/media/elxfydcg/nitratsaarbarhed\\_2023.pdf](https://mst.dk/media/elxfydcg/nitratsaarbarhed_2023.pdf)
- /9/ <https://mst.dk/media/mmmmq5gb/indvindingsoplande-iht-jordforureningsloven.pdf>
- /10/ Miljøstyrelsen, 2021. Vejledning til kortlægning af redoxgrænse og beregning af tykkelsen af akkumuleret reduceret ler. <https://edit.mst.dk/media/ad3ht5tx/vejledning-til-kortlaegning-af-redoxgraensen-og-beregning-af-tykkelsen-af-akkumuleret-reduceret-ler.pdf>
- /11/ DCE, 2023. BETYDNING AF SKIFT I INSTRUMENT-TYPER TIL VANDFØRINGSMÅLING VED HYDROMETRISTATIONER I NOVANA. Teknisk rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 258.
- /12/ Kidmose, J., Sonnenborg T. O., Henriksen, H. J. & Nilsson B.. Effective porosity and hydraulic conductivity of fractured chalk and limestone aquifers. DANMARKS OG GRØNLANDS GEOLOGISKE UNDERSØGELSE **RAPPORT 2022/13**.
- /13/ Anderson, M. P., Woessner, W. W., Hunt, R. J., 2015. Applied Groundwater Modeling – Simulation of Flow and Advective Transport. Elsevier.
- /14/ Rambøll, 2023. Beregning af 3D grundvandsdannelse med MIKE SHE – Fyn Pilotprojekt.



# Bilag 1. Beregning af indvindingsopland og BNBO til (midlertidige) inaktive, reserve- og nødforsyningsboringer

Før grundvandskortlægningen kan beregne indvindingsopland og BNBO til almene vandforsyninger, skal der foreligge en gyldig indvindingstilladelse. I henhold til 16 stk. 1 nr. 2 i bekendtgørelse om indvinding og vandforsyning skal de boringer tilladelsen vedrører fremgå.

Er en boring registreret som inaktiv/reserve-/nødforsyningsboring, og/eller ikke forventes at blive anvendt som almen vandforsyningsboring, vil behovet for kortlægning vurderes konkret i dialog mellem Miljøstyrelsen og kommunen. Her kigges der bl.a. på, hvordan boringen indgår i vandforsyningens indvindingstilladelse, herunder om vandforsyningen har lov til at pumpe vand fra den pågældende boring ud til forbrugere uden forudgående sagsbehandling i kommunen.

Indvindingsfordelingen i kortlægningen skal svare til den som fremgår af indvindingstilladelsen. Hvis fordelingen ikke fremgår af indvindingstilladelsen fordeles denne ligeligt mellem boringerne, som fremgår af indvindingstilladelsen, med mindre kommunen har viden om en anden fordeling, hvorved fordelingen i de konkrete tilfælde aftales mellem kommunen og Miljøstyrelsen. Så vidt muligt sikres en robust fordeling af indvindingstilladelsen mellem boringerne, da indvindingstilladelsen kan løbe op til 30 år. Indvindingstilladelsen er oftest 10-25 % større end de oppumpede mængder, herved er der taget højde for en vis variation i daglig/årlig oppumpning.

Såfremt kommunen skriftligt kan dokumentere, at en boring, som fremgår af indvindingstilladelsen, ikke anvendes og ikke vil blive anvendt til almen vandforsyning uden forudgående kommunal sagsbehandling, skal indvindingsopland og BNBO ikke afgrænses og udpeges.

# Bilag 2. Partikelbanesimulering – Placering af startpartikler

## Bilag 2.1 Simulering i MIKE SHE

Nedenfor er givet et forslag til placering af startpartikler.

Ved beregning af indvindingsoplande placeres 10 startpartikler i alle modelceller.

Ved beregning af grundvandsdannende partikler placeres 25-50 startpartikler i alle modelceller i modellens to øverste beregningslag.

Antallet af partikler er bestemt af, hvor mange partikler modellen kan håndtere mht. til beregningstiden. Men grunden til, at der kan placeres flere partikler per ha i de øverste lag, er, at en stor del af partiklerne kan forsvinde til dræn, vandløb, modelrand og umættet zone. Om man placerer flere partikler i lag 1 og 2 skal vurderes individuelt. Den endelige beslutning om det valgte antal partikler og deres fordeling skal angives. Modellen skal være opvarmet (for eksempel, en 5-års opvarmingsperiode) før modellen beregner på partiklerne. Det kan i den forbindelse være en fordel at generere og anvende en Hot start fil. Det anbefales, at partiklerne i de øverste lag tildeles modellen, enten 4 gange i løbet af det første simuleringsår, eller efter en periode, hvor der er simuleret et lavt grundvandsspejl i modellen, for eksempel sommer eller tidligt efterår. Denne indplacering er vigtig, da det sikrer, at partiklerne, der skal simulere grundvandsdannelse til grundvandsmagasinerne, når grundvandsmagasinerne. Hvis partiklerne indplaceres på tidspunkter med en høj grundvandsstand (som det ofte er tilfælde omkring årsskifte), er der en risiko for, at partiklerne forsvinder ude i dræn, og ikke når ned til grundvandet.

## Bilag 2.2 Simulering i MODFLOW

Ved anvendelse af backward tracking til beregning af oplande er nedenfor givet nogle alternative forslag til placering af startpartikler, end der er angivet i afsnit 5.13 i /2/.

Startpartiklerne fordeles tilfældigt inden for en lodretstående cylinder, der berører top og bund og siderne af beregningscellen, hvor boringsindtaget er placeret.

Startpartiklerne fordeles tilfældigt inden for en afstand af  $\frac{1}{2}$  cellebredde fra indvindingsboringen inden for en lodretstående cylinder, der berører top og bund og siderne af beregningscellen, hvor boringsindtaget er placeret.

Er der ikke taget højde for partiel filtersætning ved underinddeling af magasinlag, er der mulighed for at indplacere startpartiklerne i samme koteinterval som filteret dækker, frem for at indplacere startpartiklerne over hele cellehøjden.

I de tilfælde, hvor indvindingsboringen geografisk er lokaliseret tæt på hjørnet af beregningscellen, hvor boringsindtaget er placeret, er det relevant at benytte en afstand, der er større end  $\frac{1}{2}$  cellebredde fra indvindingsboringen ved placering af startpartiklerne, for at cylinderen kan dække et tilstrækkeligt volumen af beregningscellen, hvor boringsindtaget er placeret. For kvadratiske beregningsceller kan man f.eks. vælge en afstand på kvadratrodd 2 gange cellebredden eller en hel cellebredde.

## **Administrative retningslinjer for hydrologisk modellering og beregning af indvindingsoplande og grundvandsdannende partikler**

Miljøstyrelsens grundvandskortlægning anvender rutinemæssigt hydrologiske modeller til beregning af indvindingsoplande og grundvandsdannende partikler.

Kortlægningen skal følge de til enhver tid gældende kravspecifikationer, vejledninger og faglige og administrative retningslinjer, herunder kvalitets-sikringsprocedurer, som kan tilgås fra Miljøstyrelsens hjemmeside.

Vedrørende hydrologiske modeller til beregning af indvindingsoplande og grundvandsdannende partikler er der særligt fokus på, at beregningerne og områdeafgrænsningen og dokumentationen heraf udføres i overensstemmelse med følgende dokumenter:

- a) Administrative retningslinjer for hydrologisk modellering og beregning af indvindingsoplande og grundvandsdannende partikler (nærværende dokument)
- b) Geo-vejledning 2017/1: Hydrologisk vejledning
- c) Håndbog i grundvandsmodellering

Formålet med nærværende dokument er at give supplerende, mere præcise retningslinjer, end der er angivet i b) og c), med henblik på at modeleringsarbejdet og dokumentationen heraf udføres mere ensartet, i henhold til nogle fagligt funderede administrative beslutninger



Miljøstyrelsen  
Tolderundsvej 5  
5000 Odense C

[www.mst.dk](http://www.mst.dk)