

Sikkerhed i indsatsplanlægning - beregning af indvindingsoplande

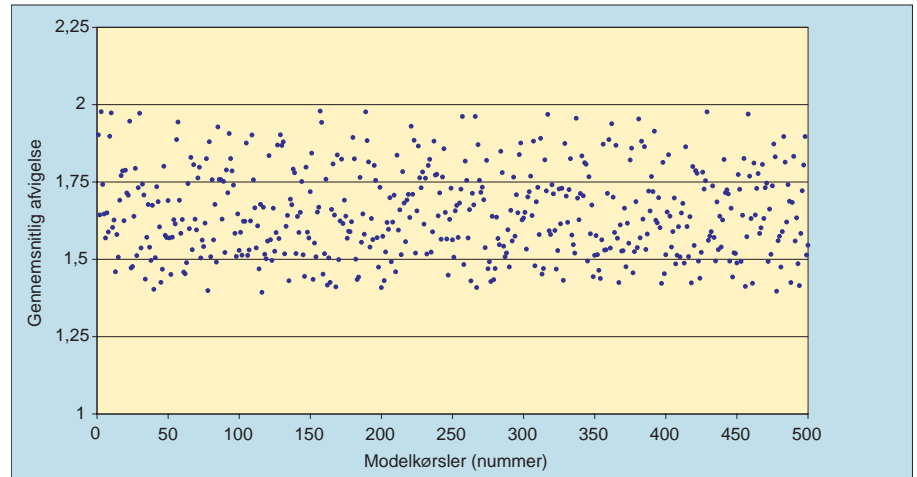
Af geolog Rasmus Bærentzen, HOH

Med nye metoder kan sikkerheden i modelberegnete indvindingsoplande kvantificeres, således at der opnås større sikkerhed for, at grundvandsbeskyttelsen rammer rigtigt.

I forbindelse med amternes arbejde med beskyttelse af grundvand og drikkevand er det vigtigt med et godt kendskab til, hvor grundvandet dannes og transporteres i grundvandsmagasinerne til oppumpning i borerne på vandværkernes kildepladser. Disse områder, hvor grundvandet dannes og transporteres, benævnes infiltrationsområder og indvindingsoplande og er centrale emner, da indsatsplanlægningen og grundvandsbeskyttelsen vil tage udgangspunkt i placeringen af disse oplande.

Traditionel oplandsberegning

Med simple håndberegninger baseret på potentialekort og vurderinger af grundvandsdannelse opnås et meget groft skøn



Gennemsnitlig numerisk afvigelse for tilfældige kørsler med grundvandsmodellen inden for konfidensintervallerne. Hvert punkt viser for hver kørsel den gennemsnitlige numeriske afvigelse mellem alle de observerede data og de tilsvarende beregnede (Grafik: Forfatteren)

på indvindingsoplandenes areal og facon. Ved anvendelse af en kalibreret grundvandsmodel, kan der på bl.a. på baggrund af beregning af partikelbaner opnås en mere detaljeret vurdering af indvindings-

oplandenes placering, som der er behov for i en indsatsammenhæng.

Selvom en grundvandsmodel er kalibreret med høje kvalitetskrav (high fidelity-niveau /1/), vil der også være andre størrelser af modelparametrene (som eksempelvis kan være zoner med konstant transmissivitet), der vil kunne give et modelresultat, som ligger inden for usikkerheden på de observerede grundvandsstande. Dette forhold giver anledning til et ønske om at vurdere betydningen af variationen i parameterstørrelserne i udpegningen af indvindingsoplande.

Trods grundvandsmodellens mulighed for at give detaljerede beregninger af placeringen af indvindingsoplande er der hidtil ikke i større omfang præsenteret resultater, hvor den uundgåelige usikkerhed ved bestemmelsen af grundvandsmodellens modelparametre er inddraget i beregningen og visualiseringen af indvindingsoplandene.

Den inverse kalibreringsmetode, der ofte benævnes automatisk kalibrering, fungerer ved at modelparametrene successivt ændres i retning af en bedre tilpasning af bl.a. grundvandsmodellens beregnede grundvandsstande til de tilsvarende målte grundvandsstande. Ved denne kalibrering opnås der, foruden estimater på de optimale parameterverdier, en vurdering af sikkerheden i parameterverdierne ved angivelse af konfidensintervaller.

Til belysning af problemerne med parameterusikkerhederne og dermed også sikkerheden i indvindingsoplandet er det

Ordforklaring

1. Grundvandsmodel: En grundvandsmodel anvendes til en 2D eller 3D beregning af grundvandsstrømningen i jorden. En grundvandsmodel består forenklet set i inddeling af modelområdet i et net, hvor der for hver beregningscelle eller -kasse beregnes strømning ind og ud af alle cellernes 6 flader. Strømningen kan beregnes med anvendelse af flere beregningslag, når der forekommer store variationer i geologien nede i jorden. Til grundvandsmodellens topflade tilføjes der den nettonedbør, som når gennem rodzonen, og i grundvandsmodellen tages der hensyn til, at en del af grundvandet ender i vandløb, oppumpes, etc.

2. Konfidensintervaller: Angiver sikkerheden i bestemmelsen af parameterverdierne. Angives ved et øvre og et nedre konfidensniveau (normalt 95 % konfidensinterval), som angiver intervallet, hvor parameterverdierne kan variere indenfor, uden at de beregnede resultater varierer mere end den usikkerhed, som findes på de observerede data.

3. Monte Carlo-teknik: Teknikken bygger på at udtage tilfældige parameterverdier og sammenholde de beregnede resultater med de tilsvarende observerede data. I det viste tilfælde udtages der dog parameterverdier inden for de beregnede konfidensintervaller.

4. Kalibrering: Kalibrering omfatter en tilpasning af parameterverdierne, som gør, at modellens beregnede resultater tilpasser de observerede data bedst muligt. Kalibreringen opdeles generelt i en manuel kalibrering, hvor den, der udfører kalibreringen, varierer modelparametrene efter sit subjektive skøn, og en automatisk kalibrering hvor der med eksemplvis inversion foretages en mere objektiv variation af parametrene ved hjælp af et beregningsprogram.

5. Inversion: Inversionsteknik anvendes til kalibrering af modellens parametre og består meget forenklet i, at der foregår en gentagen variation af de enkelte parametre mod en bedre tilpasning af de beregnede resultater til de observerede data.

muligt at konstruere et computer-beregningsprogram, hvor sikkerheden i afgrænsningen af indvindingsoplandene beregnes på baggrund af resultaterne fra en invers kalibrering af en grundvandsmodel.

Metoden

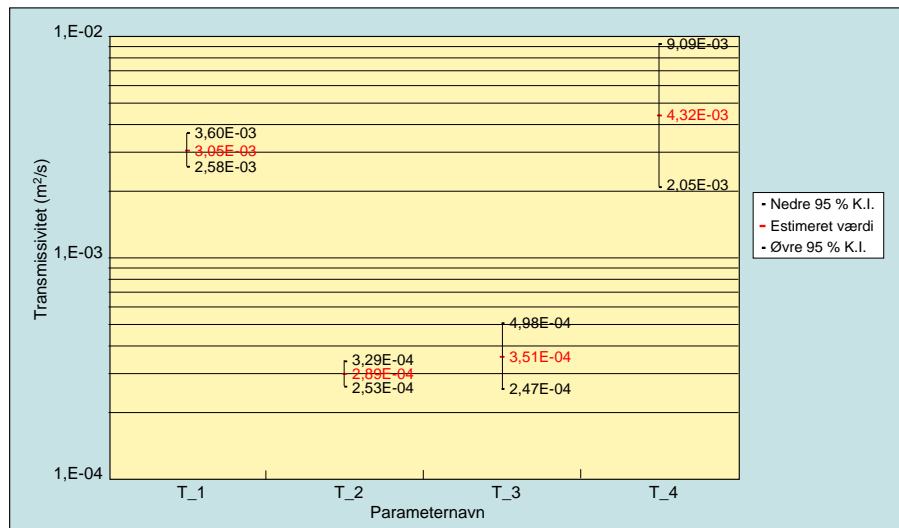
Ved kalibrering af en grundvandsmodel med den inverse kalibreringsmetode får man oplysninger om sikkerheden i de kalibrerede modelparametre i form af 95 % konfidensintervaller. Metoden i det udarbejdede program er baseret på Monte Carlo-teknik og fungerer ved, at der foretages modelkørsler med tilfældigt udvalgte parameterverdier inden for de førnævnte 95 % konfidensintervaller. Disse parameterverdier kan, som det ses i det senere eksempel, være fordelingen af transmissiviteter i modelområdet. For hver modelkørsel, som udføres i beregningsprogrammet, vurderes det, om afvigelsen mellem observationerne og de beregnede trykniveauer og evt. vandløbsafstrømninger er acceptabel. Dette har til hensigt at udvælge de modelkørsler, hvor grundvandsmodellen har en acceptable afvigelse, dvs. om der er acceptable afvigelser mellem de observerede og de beregnede grundvandsstande. Ved acceptable afvigelser kan den enkelte modelkørsel gå videre til beregningen af et indvindingsopland og indgå i den samlede vurdering af sikkerheden i indvindingsoplandet.

Valg af acceptkriterier til modelkørsler

For at vurdere om den enkelte grundvandsmodel har en acceptabel tilpasning til observationerne kan der i det udarbejdede program anvendes et eller flere acceptkriterier, som skal overholdes for at en modelkørsel kan gå videre til beregningen af indvindingsoplandet.

Overordnet acceptkriterium

Man kan anvende et overordnet acceptkriterium, hvor den gennemsnitlige numeriske afvigelse (MAE) for alle observationer som gennemsnit, holdes under et givent



Estimeret værdi samt øvre og nedre 95% konfidensinterval. 2,53E-04 betyder $2,53 \times 10^{-4}$. T_1 står for transmissivitetssone 1 osv. (Grafik: Forfatteren)

niveau. Dette niveau kan vurderes på baggrund af modelkørsler, hvor der ikke er anvendt acceptkriterier (figuren på modstående side). Heraf kan niveauet for den gennemsnitlige numeriske afvigelse for de accepterede modelkørsler vurderes, og der kan udvælges et overordnet acceptkriterium. Ved denne metode sikres der en overordnet tilpasning, men der kan dog forekomme områder i grundvandsmodellen, hvor afvigelserne er ret store, især hvis konfidensintervallerne er meget forskellige mht. bredde og hvis observationerne i nogle områder er mere følsomme overfor ændringer i parameterstørrelser end i andre områder.

Enkeltacceptkriterium

Et enkeltacceptkriterium er tilknyttet en enkelt udvalgt observation, hvor enkeltacceptkriteriet angiver den størrelse, som den beregnede afvigelse for observationen skal overholde, for at en kørsel kan accepteres. Anvendelsen af enkeltacceptkriterier kan sikre, at der ikke forekommer lokale områder med store afvigelser. Enkelt-

acceptkriterierne kan med fordel anvendes sammen med et overordnet acceptkriterium. Enkeltacceptkriterierne størrelse bør afspejle datausikkerheden, og hvor repræsentativ den observerede størrelse vurderes at være for området/magasinet.

Efter endt beregning af sikkerheden i indvindingsoplandet bør man vurdere statistikken fra modelkørslerne. Ved at gemme de største og mindste afvigelser for alle observationerne og for hver observation endvidere beregne den gennemsnitlige numeriske afvigelse for de accepterede modelkørsler sikres det, at man har bedste mulighed for at vurdere, om modelkørslerne også er anvendelige til en vurdering af sikkerheden i indvindingsoplandet. Ved for store afvigelser kan man om nødvendigt foretage nye oplandsberegninger med skærpede overordnede acceptkriterier og/eller anvende flere enkeltacceptkriterier. Herved sikres bedst mulig beregning af sikkerheden i oplandet.

Man bør dog altid holde sig for øje at anvende realistiske acceptkriterier. Opgaven består nemlig ikke kun i at finde et ind-

Vi borer over hele landet..!

- Kerneboringer
- Hulsneglsboringer
- Højslevboring
- Tørboring
- Luftslyleboring
- Skyleboring

- ring og hør nærmere...



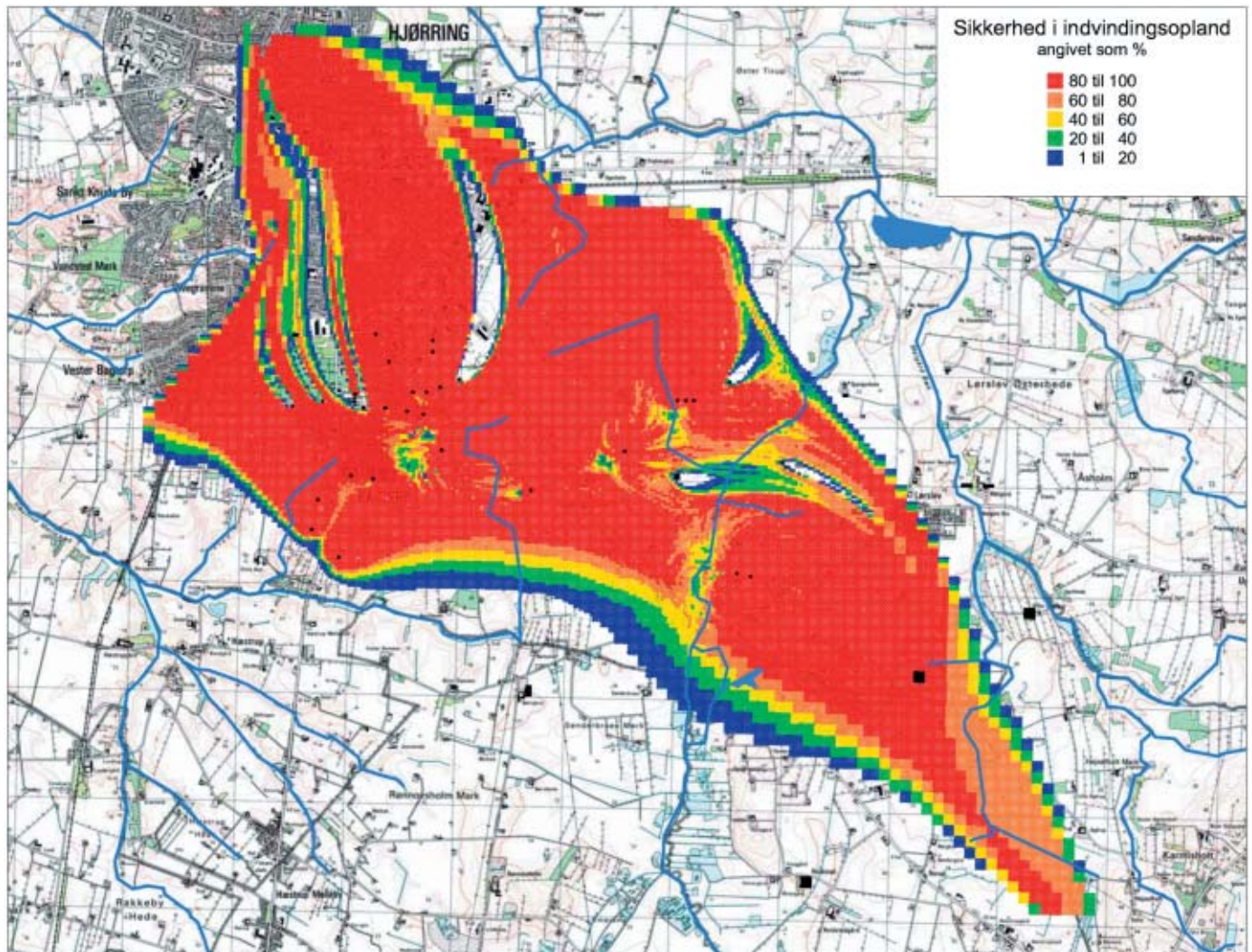


POUL CHRISTIANSEN A/S
 Brøndbore- &
 Ingeniørfirma
 7840 Højslev
 Tlf. 97 53 52 22

100

år

- din sikkerhed for erfaring og kompetence...



Beregnet opland med sikkerhedsvurdering. Procenterne angiver, hvor mange gange arealet har indgået i beregningen af oplandet under modelberegningerne. De sorte kasser er indvindingsboringer fra grundvandsmodellen. (Grafik: Forfatteren)

vindingsopland med størst mulig sikkerhed, men også at finde det opland, som mest realistisk belyser sikkerheden i indvindingsoplandet med det tilstedeværende datagrundlag.

Jordnær Teknologi



RÅDGIVNING
 Registrering eller konvertering af geo-data
 Valg af software og hardware
 Brug af informationsteknologi

KORTPRODUKTION
 Behandling og analyse af data
 Bearbejdning af kulisser
 Kort til analyseformål

DATABASESDSIGN
 Fredninger
 Vandkemi
 Råstoffer
 Boringer
 Logs

SYSTEMADMINISTRATION
 Drift af UNIX-systemer
 Systemintegration
 RDBMS
 Internet
 WWW
 E-mail

KONTAKT
 Telefon: +45 96354595
 Fax: +45 96354599
 E-mail: info@geografik.dk
 URL: http://www.geografik.dk

Eksempel på beregning af sikkerhed

Eksemplet som præsenteres i det følgende er en oplandsberegning for Hjørring Vandværk. Grundvandsmodellen har til hensigt at vurdere placeringen af indvindingsoplandene til kildepladserne, hvor Hjørring Vandværk indvinder grundvand.

Basis for beregningen af sikkerheden i oplandsberegningen er en invers kalibrering af en 1-lags grundvandsmodel for området omkring Hjørring Vandværk. I modellen er der kalibreret 4 transmissivitetparametre på baggrund af 121 observerede grundvandsstande i området, som hovedsageligt stammer fra en synkronpejlerunde. Der er ikke anvendt nogen bånd på bestemmelsen af parametrene (a priori information), idet de prøvepumpninger, som er udført i området, i stedet er anvendt som en kontrol på de kalibrerede parameterstørrelser. De beregnede konfidensintervaller fra den inverse kalibrering er vist på figuren ovenfor. Som det ses af figuren, er parametrene godt bestemt, idet konfidensintervallerne er smalle.

I første omgang er sikkerheden i indvindingsoplandet beregnet ved anvendelse

af et overordnet acceptkriterium (MAE) på 1,85 m. Det betyder, at i alle de accepterede modelkørsler er den gennemsnitlige afvigelse mellem modellens beregnede grundvandsstande og de målte grundvandsstande i boringer mindre end 1,85 m. I modelkørslen er der accepteret 184 ud af i alt 200 kørsler, dvs. 92 %. Ved gennemgangen af statistikken for de accepterede modelkørsler har det vist sig, at de gennemsnitlige numeriske afvigelser fra kørslerne ligger mellem 0,5 - 2 m, mens de største numeriske afvigelser fra kørslerne uden for kildepladsområderne generelt er på omkring 2 m. Dette ligger inden for datausikkerheden med bl.a. årstidsvariationen på grundvandsstandene taget i betragtning. En del af de største afvigelser fra kørslerne er dog oppe på omkring 6 m, men da disse pejlede grundvandsstande stammer fra GEUS's boredatabase og derfor har ret ringe datakvalitet, er disse afvigelser dog ikke umiddelbart uacceptable. De vurderes dog af en størrelsesorden, hvor det er nærliggende at få vurderet betydningen af disse afvigelser for sikkerheden i det beregnede indvindingsopland. Derfor fore-

tages der en ny kørsel, hvor der, foruden det overordnede acceptkriterium på 1,85 m, også anvendes enkeltacceptkriterier på de 4 observationer, som har store afvigelser.

Ved anvendelsen af både et overordnet acceptkriterium og 4 enkeltacceptkriterier sorteres der flere kørsler fra, og 184 kørsler ud af i alt 250 er blevet accepteret, dvs. 74 %. Efter at have sammenholdt indvindingsoplandene fra de to kørsler vurderes det, at anvendelsen af enkeltkriterierne har været uden reel betydning for sikkerheden i det beregnede indvindingsopland, idet sikkerheden og udbredelsen af de to beregnede indvindingsoplande stort set er ens. På figuren til venstre ses det beregnede indvindingsopland fra sidste beregningskørsel.

Stor sikkerhed

Som det ses af beregningerne, er sikkerheden i det samlede beregnede indvindingsopland til Hjørring Vandværks kildepladser ret stor, idet der kun er få områder, hvor sikkerheden er mindre end 80 %. Man ved derfor med ret stor sikkerhed, hvor det grundvand, der indvindes til Hjørring Vandværk, dannes. Forudsætningerne for resultaterne af beregningerne er bl.a. den anvendte indvindingsfordeling på vandværksboringerne i modelberegningerne. For at vurdere eventuelle omlægninger af indvindings sammensætningen kan man med fordel foretage de samme beregninger med andre indvindingsfordelinger og samtidigt eksempelvis vurdere betydningen af ændringer i nettonedbøren.

Yderligere vurderinger i planlægningen

Arbejdet med beregnede indvindingsoplande med usikre udpegninger af indvindingsoplande vil bestå i at vurdere, om sikkerheden i de beregnede indvindingsoplande er tilfredsstillende, om indsamling af nye data kan formindske de mindre sikre områder, eller om man i indsatsplanlægningen skal tage hensyn til områder med mindre sikkerhed i det beregnede opland. I dette eksempel må man dog kunne konkludere, at det tilstedeværende grundlag er godt nok til udarbejdelsen af indsatsplaner. Man bør dog i udarbejdelsen af indsatsplaner lade tidsperspektivet i indvindingsoplandets udbredelse indgå i vurderingen, idet der er stor forskel på, hvor lang tid det tager for vandpartikler fra den yderste del af området at nå frem til kildepladsen i forhold til områder tættere på kildepladsens boringer. Herved kan der fremkomme arealer, som man ikke nødvendigvis ønsker at inddrage i indsatsplanlægningen, som følge af at eventuelle arealrestriktioner først vil have konsekvenser efter et trecifret antal år.

Med disse vurderinger har man gode oplysninger om, hvilke arealer, der skal indgå i vurderingen i forbindelse med udarbejdelsen af indsatsplaner til at sikre den fremtidige indvinding hos Hjørring Vandværk. Indsatsen til sikring af vandværkets fremtidige ressource kan f.eks. være frivillige aftaler om, at der ikke anvendes sprøjtemidler inden for oplandet, restriktioner for virksomheder inden for oplandet, oprensning af forureninger, mv.

Betydningen af sikkerhedsberegningerne

I områder med mere kompliceret geologi og flere magasiner har områderne med mindre sikkerhed langt større udbredelse end ved Hjørring Vandværk. I disse tilfælde vil det videre arbejde som tidligere nævnt kunne bestå i indsamling af data, som kan forbedre sikkerheden i de beregnede oplande. Man vil dog formentlig ofte kunne konkludere, at man i nogen grad må acceptere områder med mindre sikkerhed på det beregnede indvindingsopland, da man må tage hensyn til en realistisk usikkerhed på observationerne.

Metoden til bestemmelse af usikkerhederne på afgrænsningen af indvindingsoplandet tilvejebringer et godt beslutningsgrundlag til en vurdering af, hvor grundvandsbeskyttelsen bør intensiveres mest muligt, f.eks. i form af aftaler om restriktioner i arealanvendelsen, oprensning og afværgeforanstaltninger over for forurenede jord og grundvand. Da eventuelle tiltag både kan være økonomisk tunge og have stor betydning for fremtidens arealanvendelse, bør man i en indsats sammenhæng belyse sikkerheden i indvindingsoplandene for at få det bedst mulige beslutningsgrundlag for udarbejdelsen af indsatsplaner. Uden disse oplysninger risikerer man at indføre tiltag, som ikke har nogen effekt; eller at man undlader at indføre tiltag i områder, som har stor betydning i sikringen af den fremtidige grundvandsressource. ■

Geologiens Dage 2002

- for alle der interesserer sig for geologi

Af Geolog Lise Holm, Skov- og Naturstyrelsen

Geologiens Dage afholdes i år for 5. gang og henvender sig til alle geologiinteresserede. Man kan også selv deltage aktivt. Læs her hvordan.

Geologi er et fascinerende fag – det skal andre også vide. Har du lyst til at fortælle om det? Så meld dig under fanerne ved at kontakte Lise Holm, Skov- og Naturstyrelsen, eller Henrik Højmark Thomsen, GEUS. Du kan også udfylde tilmeldingsskemaet direkte via et link på www.dnf2002.dk.

Geologiens Dage er geologers og geologikyndiges tilbud til den danske be-

folkning om at få en fortælling om det land, vi lever i, opleve de geologiske processer i naturen, få indsigt i geologiens betydning for vores samfund, eller hvad du nu har lyst til at videregive af din viden. Arrangementerne kan efter dit eget valg være gratis for deltagerne eller mod betaling.

Vidste du:

- at det i år er 5. gang, dagene markeres? Dagene afholdes hvert andet år.
- at sidste gang, i 2002, var det amatørgeologer og naturvejledere, der stod for flertallet af ture?

Synes du, at det er en god måde at synliggøre faget på, og har du lyst til at dele ud af din egen fascination af naturens mangfoldighed, så støt initiativet ved at tilmelde en tur eller et foredrag eller noget helt tredje. Arrangementet kan også foregå i samarbejde med andre fagfolk, og alle aspekter af geologien er relevante. Kontakt

eventuelt lokale natur- og friluftsföreninger, hvor du bor, og tilbyd en tur i det grønne set med geologens øjne. Eller arranger en udflugt sammen med din lokalavis.

Tilmeld dit arrangement senest den 1. maj via et link på www.dnf2002.dk.

Skov- og Naturstyrelsen, GEUS og Dansk Naturvidenskabsfestival 2002 står for den overordnede koordinering og information. De enkelte arrangører har selv ansvar for den lokale information om deres arrangementet. ■

Spørgsmål?

Kontakt:

Lise Holm, Skov- og Naturstyrelsen, tlf. 39 47 22 58, E-mail lho@sns.dk eller Henrik Højmark Thomsen, GEUS, tlf. 38 14 21 02, E-mail hht@geus.dk.

28. - 29. september