

2. ÅRGANG
nr. 4 / 2003

MATEMATIK FYSIK KEMI *i*

PERSPETTIV



JAGTEN PÅ FRISK DRILLEEVAND - DE KOSTBARE DRÅBER

Ferskvand i rigelige mængder er den vigtigste ressource for ethvert samfund. Vi drikker det, og vi bruger det i madlavningen. Vi vasker os, vi tager bad i det, og vi bruger det i industri og i fødevarerproduktion. Denne vigtighed illustreres fx på religiøs vis ved at vandet indgår i dåbsritualet.

Vandet er vigtigt for energibalancen i atmosfæren, og det indgår i et kredsløb, der ved fordampning fører vanddamp til atmosfæren, hvor der dannes skyer med efterfølgende nedbør.

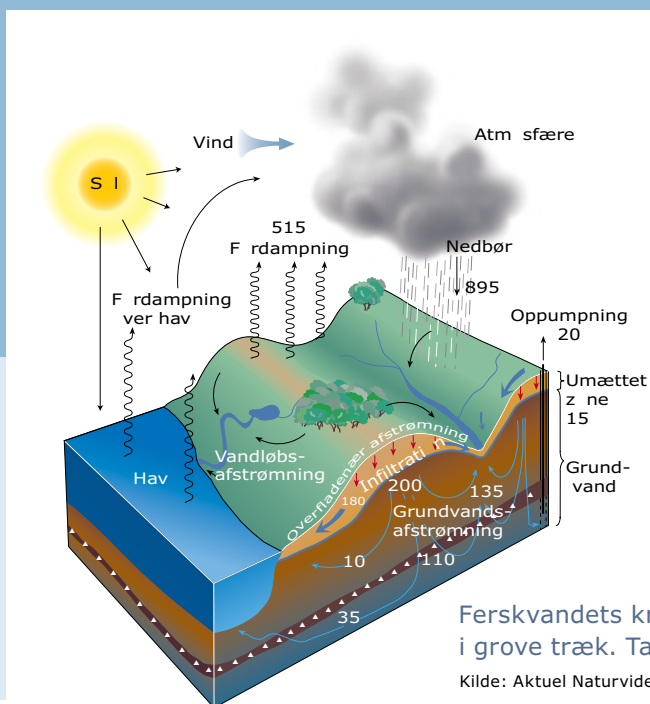
En mindre del af dette vand indgår dog i et helt andet kredsløb under jorden. Det friske regnvand siver ned og danner det livsnødvendige grundvand, der sikrer os frisk drikkevand.

Grundvandet dannes om vinteren

I Danmark vil den største del af nedbøren, der falder fra maj til september, opfanges af vegetationen; enten på blade og grene eller af rødder i den øverste meter af jorden. Ved fordampning afgives vandmolekyler til luften, og her kan de nu med vinden føres tilbage til atmosfæren og på ny indgå i de små dråber, som danner skyerne.

I sommerhalvåret er nedbøren ofte noget mindre end fordampningen, og derfor tømmes rodzonen langsomt for vand. I takt med at vandindholdet aftager, bliver de tilbageværende vandmolekyler bundet stærkere og stærkere til jordens partikler, og planterne får sværere ved af "suge" vandet op.

I vinterhalvåret er nedbøren større end fordampningen. Derfor vokser vandindholdet i rodzonen i løbet af efteråret, og vandet bindes igen løsere til jordpartiklerne. Består jorden af grovkornede lag, siver næsten al nedbøren om vinteren ned gennem jorden, og der dannes rigelige mængder grundvand. Består jorden derimod af lerlag vil den hurtigt vandmættes fordi vandtransporten i porerne foregår så langsomt. Vandet staves op, jorden vandmættes, og det er nødvendigt at grave grøfter eller lægge drænrør ned i jorden, så vandet kan ledes ud til vandløbene.



Ferskvandets kredsløb og vandbalancen i grove træk. Tallene er i mm vand pr. år.

Kilde: Aktuell Naturvidenskab

Vandets rejse

Grundvandsdannelse på Tunø

Når vandet fra nedbøren siver ned gennem rodzonen, reagerer det kemisk med jordpartikler og planterødder, hvorved ioner - fx nitrater - bliver tilført det nedsivende jordvand. Sker der ikke yderligere kemiske reaktioner, vil det nedsivende vand, når det når grundvandspejlet, bringe sit indhold af opløste ioner med ned til grundvandet.

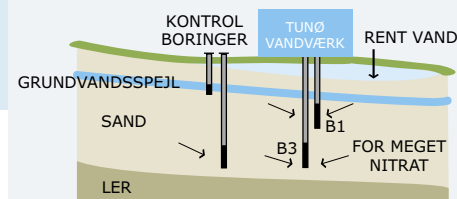
Et eksempel, der viser effekten af at "leve oven på sit grundvand", kan ses illustreret af forholdene på Tunø i Kattegat. Nedbøren er her 600 mm/år, men heraf opfanger og fordamper vegetationen 450 mm/år. Resten siver ned og danner det nye grundvand.

På Tunøs østlige del findes der et udstrakt lag af sand og grus, som vandet kan sive ned til. Laget indeholder en stor mængde grundvand, som let kan sive vandret gennem laget til kysten eller til vandboringer. Et sådant lag kaldes for et vandførende lag eller et grundvandsmagasin. Det er øens eneste magasin, så et lille vandværk oppumper her 13.000 m³ grundvand

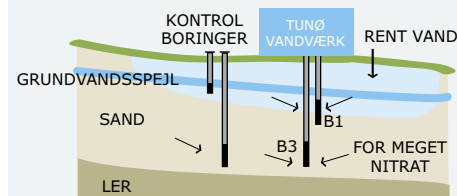
om året for at forsyne indbyggerne og de mange turister med drikkevand.

Over grundvandet findes sand, og i nærheden af vandværkets boringer er der i en årrække sket dyrkning af vårbyg og nogle gartneriafgrøder – hovedsagelig porrer. Dyrkning af porrer kræver stor tilførsel af kvælstofgødning, og indholdet af nitrat NO₃ i grundvandet steg derfor støt. Sidst i 80'erne var der således over 100 mg/L i den hårdst ramte boring. Der blev derfor i 1988 indledt et samarbejde om at begrænse nedsivningen af nitrat. I et område på 300 m fra vandværket ophørte landbrugsdriften i 1988, og området blev tilsået med græs. Græsset slås to gange årligt, og der gødes og sprøjtes ikke.

Efter mere end 10 års forløb er der sket et markant fald i belastningen med nitrat, så koncentrationen nu er under 50 mg/L i grundvandet – den sundhedsmæssigt højst tilladelige koncentration. Dette skyldes, at det øverste grundvand nu er blevet rent.

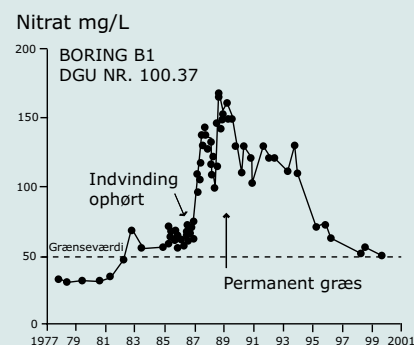


1990: Det rene vand findes i de øverste jordlag



2000: Det rene vand er i det øverste grundvand

Forholdene ved Tunø vandværk.



Udvikling af nitratkoncentration i en stærkt belastet boring.

Kilde: Århus Amtskommune

Vandet i jorden under os

Ferskvandet i jorden fordeler sig mellem to zoner: Øverst - i den umættede zone - findes jordvand, der er bundet til jordpartiklernes overflade i de mindste porer, mens der altid findes luft i de største porer. I de mellemstore porer kan der både være vand og luft. Det afhænger af, om jorden er udtørret eller ej. Derunder - i den mættede zone - er alle porer fyldt med grundvand, som langsomt bevæger sig frem mod havet eller store vandløb og søer. Grænsen mellem den umættede og mættede zone kaldes for grundvandspejlet.

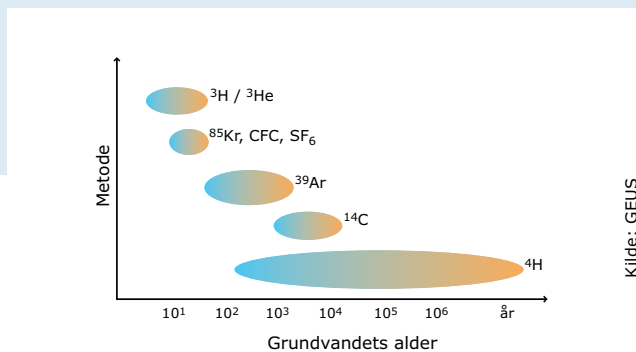
Vandets strømning i porernes labyrint

Først betragter vi et jordlag, som er vandmættet. Såfremt laget mest består af partikler med diameter på 0,125 mm eller større (sand og grus) vil porerne, dvs. hulrummene mellem partiklerne, være store, og vand kan nemt og hurtigt strømme gennem disse. Derfor kan vand let oppumpes fra laget, og det kaldes for et vandførende lag.

Hvis jorden derimod indeholder de lidt finere silt-partikler eller ligefrem lidt ler, så er porerne små og vandet bevæger sig langsommere. Laget egner sig derfor ikke til vandindvinding. Vokser lerindholdet til 10-20% bliver porerne meget små (få tusindedele millimeter i diameter), og de tillader så godt som ingen vandgennemsvivning. Et sådant lag kaldes derfor for et vandstandsende lag.

Er jorden ikke vandmættet, vil der være luft i en del af porerne. Porerne fungerer som hårrør (kapillærer), der kan "suge" vand op og fastholde det ved undertryk imod tyngdekraften. Store porer har lille "sugeevne" så sand- og gruslag over grundvandspejlet indeholder kun lidt vand. Små porer derimod, har stor "sugeevne" så næsten alle porer i et lerlag er vandfyldte.

-fra regnvand til grundvand

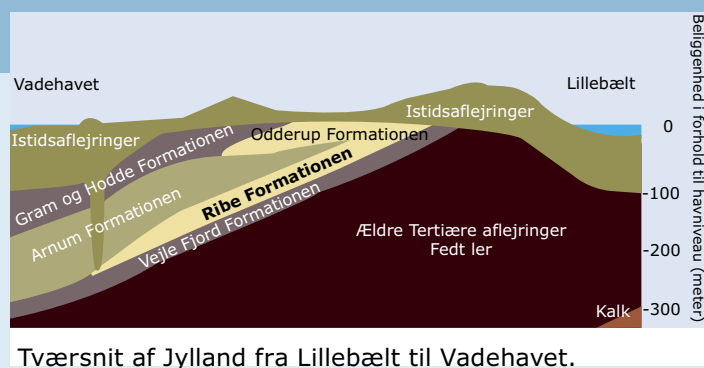


Aldersbestemmelse af grundvand

Mens påvirkning fra menneskelige indgreb hurtigt ses på Tunø, kan der gå meget lang tid, før påvirkning kan erkendes i grundvandmagasiner, der ligger under tykke lerlag og dybt (100-200 m) under jordens overflade. I sådanne magasiner er mængden af grundvand, der dannes hvert år, meget lille - eller sagt på en anden måde: Den gennemsnitlige alder af vandet i magasinet er meget stor.

Bestemmelse af grundvandets alder kan ske på forskellig vis. Grundvand, som er yngre end 50 år (ungt vand), kan dateres ud fra dets indhold af stoffer, der fra industrien er tilført atmosfæren, fx CFC-gasser, der er blevet udledt siden 1970'erne.

Den radioaktive kulstof-14 isotop ^{14}C kan anvendes til at datere vand, der er ældre end 50 år (gammelt vand). Vand, der ikke indeholder kulstof-14, kan være ældre end 35-50.000 år (meget gammelt vand).



Ribeformationen

Noget af det ældste ferske grundvand, der kendes her i Danmark, findes i et sand- og gruslag, som ligger dybt under den vest- og sydvestlige del af Danmark. Lagene, der hedder Ribeformationen, blev dannet af et stort flodsystem, som for ca. 20 mio. år siden afvandede dele af Skandinavien, Østersøområdet og Rusland. Floden udmundede i et delta nær Jyllands nuværende vestkyst.

Området er en del af Nordsøbassinet, som synker ganske langsomt. Efter aflejringen af Ribeformationen kunne tilførslen af sediment ikke holde trit med nedsynkningens hastighed. Derfor rykkede kysten mod øst, og fint materiale fra havet blev aflejret oven på sandet. Under istiden blev de øverste lag eroderet, men isen og smeltet vandet lagde også nye lag ovenpå.

Grundvandet, der strømmer i Ribeformationen, dannes ved nedsivning gennem sandlag nær den jyske højderyg. Derefter siver det lige så langsomt mod Vesterhavet. Her presses vandet op, men opsivningen foregår vanskeligt, fordi der de fleste steder ligger tykke lag af ler mellem sandet og overfladen. Visse steder er der dog små "vinduer", og her kan vandet langsomt sive op.

På grund af dette "flaskehalsproblem" er vandet i Ribeformationen meget gammelt, mere end 1000 år. Så her vil der gå lang tid, inden vi ser sporene efter menneskets nuværende påvirkning. Til gengæld tager det også lang tid at rette op på eventuelle skader, som bliver forvoldt på grundvandet.

At finde vand - fysikken som pilekvist

For at få drikkevandet op fra grundvandet må man bore. Derved får man også jordprøver op, som fortæller os, hvad regnvandet er sivet igennem, og vi kan på dette sted bestemme jordlagenes dybder og tykkelser.

Boringer er dyre, og der kan være flere kilometer imellem dem, så det kan være vanskeligt og usikkert at gætte på udformningen af de underjordiske landskaber, som styrer grundvandets strømninger.

Derfor benytter vi geofysiske målinger på jordoverfladen, som på en lettere og billigere måde fortæller os om jordlagene. Det sker blandt andet ved at sende strøm ned i jordlagene og udnytte jordlagenes og vands forskelle i elektrisk ledningsevne.

Elektriske målinger og vandet i jorden

Elektriske strømme i jorden giver os information om jordlagenes mineraler, vandet og dets indhold af opløste salte. Elektrisk strøm ledes på to måder i jorden – dels af ionerne i grundvandet i porerne og dels af bundne ioner i våde lerpartikler i jorden. Derfor leder salt grundvand samt lerlag strømmen godt.

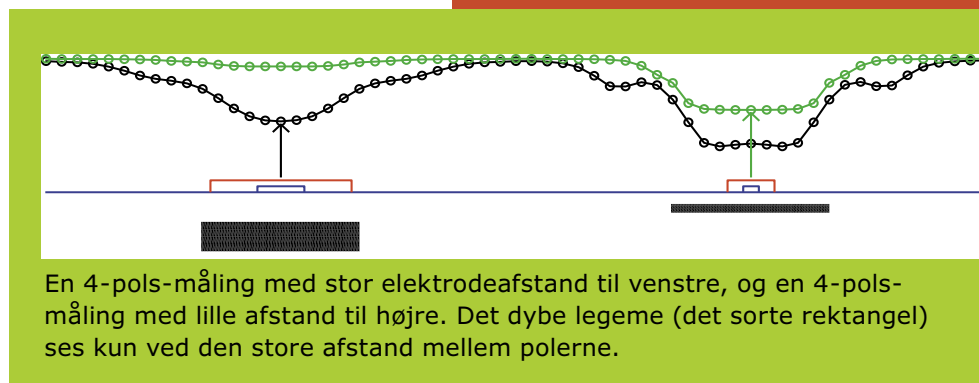
Med elektriske målinger kan man måle dybden til eventuelt saltholdigt (og derfor udrikkeligt) grundvand, og man kan bestemme placeringen af lerlag, som bremser og styrer grundvandets strømninger i undergrunden.

4-pols-metoden

Vi kan få elektrisk strøm til at løbe gennem jorden på flere måder. Den enkleste måde kaldes 4-pols-metoden. Jo bedre jorden leder den strøm, som vi tvinger ud i jorden, jo

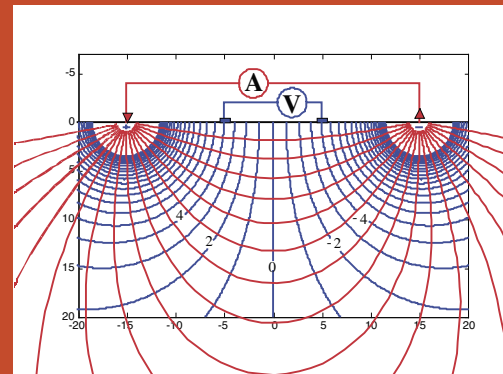
lavere bliver den spændingsforskel, som vi måler.

På den måde måler man, hvor god jorden er til at lede strømmen, der primært løber den direkte vej mellem elektroderne, men også i en bue ned til halvdelen af afstand-en mellem elektroderne. Ved at flytte disse fire elektroder til andre steder på jordoverfladen kan vi med spændingsmålingen bestemme undergrundens resistivitet disse steder.



Ved at flytte 4-pols-opstillingen i små trin langs en linie på jordens overflade afslører vi forskellene under linien. Figuren ovenfor viser, hvordan 100 målinger med en lille afstand mellem strømelektroderne afslører et lerlegeme nær overfladen men overser et lerlegeme dybere nede. Dette dybere lerlegeme finder vi imidlertid klart og tydeligt ved at øge afstanden mellem strømelektroderne.

Jo større afstanden er mellem elektroderne, jo større indtrængningsdybde har den gennemsnitsmåling, vi foretager. Ved at benytte mange forskellige afstande mellem elektroderne, samt benytte avancerede computerprogrammer, kan man foretage en egentlig scanning af et dybdesnit i jorden.

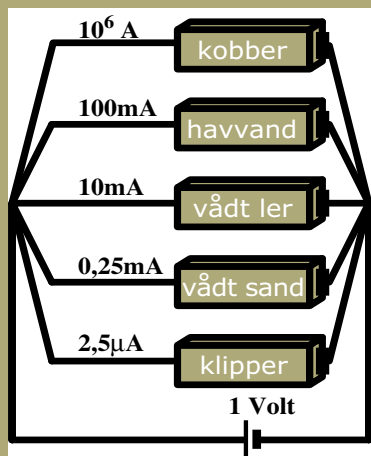


I strømkredsløbet (rød farve) sendes 10 mA ud i et jordlegeme med resistiviteten $50 \Omega \cdot m$. Niveaukurver for spændingen er angivet med afstand på 1 mV (blå farve). Vi ser, at der mellem elektroderne måles en spænding på 8 mV. Denne spænding er proportional med jordlegemets resistivitet.

Den elektriske strøm i jordens labyrint af porer

De fleste stoffer i vor dagligdag er enten elektrisk ledende, især metaller, eller elektrisk isolerende, fx glas, plastik, træ og luft. Vand, kød og jordlag leder også den elektriske strøm, men ca. en million gange dårligere end metaller. Det er forskellene i jordlagenes elektriske ledningsevne, som gør det muligt at skelne mellem dem, når man udsætter dem for en elektrisk strøm.

Når den elektriske strøms ladninger skal transporteres i et jordlag bygget af tætpakkede sandkorn, er det nødt til at ske gennem den snirklede labyrint af porer mellem kornene. Hvis der er vand i porerne, som det er tilfældet under grundvandspejlet, så kan strømmen løbe i kraft af de opløste salte, som det naturlige vand altid indeholder i større eller mindre mængder.



Parallelkobling bestående af kobber, havvand, vådt ler, vådt sand og klipper, alle med længde 25 cm og kvadratisk tværsnit med kant 8 cm. Strømstyrken gennem stofferne afspejler ledningsevnen.

Det forunderlige ler

Ler består af lagdelte krystaller, på hvis overflade der sidder løst bundne ioner, som mobiliseres, når leret bliver vådt. Selvom leret vædes med destilleret vand, leder leret den elektriske strøm meget godt, og de overfladebundne ioner vaskes ikke ud selv efter millioner af års gennemsivning af regnvand. Da leret er vandstandsende, er det meget væsentligt at påvise de lerlag i undergrunden, som bremser og styrer grundvandets strømninger.

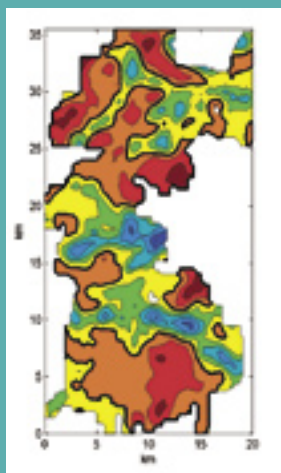
Kombination af boringer og elektriske målinger

Selvom der er foretaget mange tusinde boringer i Danmark, og resultaterne opbevares i store databaser, så er afstanden mellem boringer med dybde over 50 meter ofte adskillige kilometer. Ved moderne planlægning af en bæredygtig drikkevandsforsyning kombineres de detaljerede oplysninger om grundvandet og jordlagene fra boringerne med et tættere net af geofysiske målinger.

Udover udbredelsen af de grundvandsførende lag og deres afgrænsende lerlag giver disse undersøgelser også vigtige oplysninger om de lerlag tæt på overfladen, som kan beskytte grundvandet mod direkte nedsvivning af farlige stoffer.

Figuren til venstre viser dybden til de massive lerlag fra tertiærtiden (ca. 50 millioner år gamle), som findes i omegnen af Århus. Røde og brune farver er lerbakker, som rager op over havniveau. Gule og blå farver viser de skjulte daltrug med dybde op til flere hundrede meter, som er fyldt op med sandede lag fra istidene og derfor skjulte i nutiden. Fra disse sandlag indvindes drikkevandet til byerne i området.

Strømning og eventuel opblanding af rent og forurenset grundvand styres af disse daltrug. Lerlaget er kortlagt indirekte gennem dets elektriske ledningsevne, som er meget højere end ledningsevnen i sandlagene. Denne geofysiske undersøgelse har kostet omkring 5 millioner kroner. Lerlagets skjulte overfladelandskab kunne naturligvis også være fundet med almindelige brøndboringer, men det ville have kostet flere hundrede millioner kroner.



Undergrundens beskaffenhed i omegnen af Århus. Rød/brun er lerbakker, gul/blå er gamle, opfyldte daltrug.

Man kan altså opfatte jordlaget som et enormt netværk af parallel- og serieforbundne modstande, hvor hver lille pore er en enkelt næsten mikroskopisk elektrisk modstand. Hvis kornene ligger løst som i strandsand, så er porerne brede, og det er let for strømmen at få kontakt gennem netværket af porer. Hvis porevæsken indeholder mange ioner, som fx i saltvand, så er ledningsevnen også høj. Derfor er løst sand med havvand som porevæske et særligt stærkt ledende jordlag.

Hvis kornene i modsat fald ligger tæt-pakkede, som det kan ske, når istidens gletchere som gigantiske vejtrømler har trykket jordlagene sammen,

så er mange af porerne blindgyder, og strømmen finder vanskeligere frem. Hvis også porevandet er meget fersk, så er laget dårligt ledende.

Endnu dårligere ledningsevne forekommer, når luft udfylder en større eller mindre del af porerne i den u-mættede zone over grundvandsspejlet. Det kender vi fra god havejord.

Grundvand og de geologiske lag

I Danmark findes der enkelte områder, hvor lerlag strækker sig fra terræn til dybder på 100-200 m eller mere, så det er umuligt at indvinde vand. De fleste steder findes der imidlertid sand- eller kalklag med grundvand, der kan indvindes.

Det meste af det grundvand, der findes, har en kvalitet, så en forholdsvis enkel og billig behandling er tilstrækkelig, førend det kan drikkes. Vi vil se på, hvorledes dette grundvand oppumpes og behandles, og til slut sendes ud til de enkelte huse.

Det skal dog også nævnes, at der findes grundvand, der fra naturens side har en sammensætning, så det er sundhedsskadeligt, fx fordi det indeholder en høj koncentration af fluor eller udrikkeligt, fordi det indeholder for meget salt (NaCl). Hyppigst er det dog menneskelig aktivitet, der nogle steder har forringet, eller helt ødelagt vandets kvalitet. I den forbindelse skal det bemærkes, at egentlig kemisk rensning af vand til drikkebrug ikke anses for at være en acceptabel løsning i Danmark.

Jordlagene, hvorfra der indvindes grundvand, varierer fra landsdel til landsdel på grund af regionale forskelle i Danmarks geologiske opbygning. Fra Mariager til Ålborg findes der fx mange steder kalk i mindre end 25 m dybde under overfladen. Kalklagene er vandholdige, så her

kan der de fleste steder let pumpes grundvand op til drikkebrug. På Sjælland findes der også kalk, men en del steder ligger den ret dybt og er dækket af moræneler. Her bevirker leret, at en mindre andel af nedbøren når ned til kalklagene sammenlignet med det jyske område, så mindre vand er tilgængeligt for indvinding. Det er selvfølgelig uheldigt, idet der relativt set bor flest mennesker på Sjælland.

Grundvand fra kalkområderne er kendetegnet ved et højt kalkindhold (høj hårdhed), som tydeligt giver sig til kende ved smagen, og ved at der skabes kalkudfældning, hvor vandet tappes fra hanen.

På hedesletterne i det sydlige og vestlige Jylland blev der aflejret store mængder smeltevandssand og -grus i løbet af sidste istid. Sandlagene indeholder store mængder grundvand, der de fleste steder let kan behandles, så det smager rimeligt. I de øverste lag er der mange steder et højt indhold af jern (okker) og mangan, samt et lavt pH. Dette påvirker smagen, og der kan dannes røde og mørke udfældninger, hvor vandet tappes.

Såfremt pH er meget lav, kan der findes metalioner i vandet. Så til sættes kalk for at hæve pH. Mange steder luftes vandet så der tilføres ilt. Efterfølgende kan vandet filtreres, så jern og mangan fjernes. Nogle steder indeholder vandet så meget nitrat fra landbrugsdrift, at det ikke må drikkes. Kan der ikke findes en

bedre ressource må det nitratholdige vand blandes med vand, som har et mindre nitratindhold, for nitrat kan kun fjernes ved kemisk rensning, der som nævnt ikke er tilladt i Danmark.

Undertiden finder man vand, som indeholder store mængder af mikroskopiske organiske partikler. Det giver vandet en brunlig farve, og da det kræver en meget dyr behandling gennem mikrofiltre, betyder det som oftest, at vandet ikke indvindes.

Vandplanlægning

Inden bygningen af et vandværk beregner fagfolk vandbehovet og analyserer, hvorledes et område bedst kan forsynes med vand. Derefter kortlægges, hvor den nødvendige vandmængde kan oppumpes, uden at det unødigt generer eller skader andre vandinteresser. Desuden analyseres vandprøver fra prøveboringer, så man kan skønne, hvorledes det oppumpede grundvand skal behandles, inden det kan drikkes.

Vandforsyning

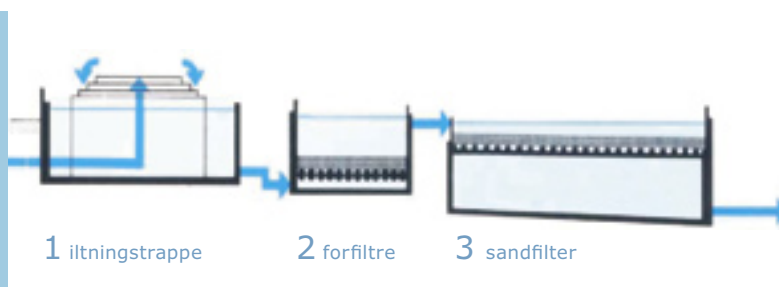
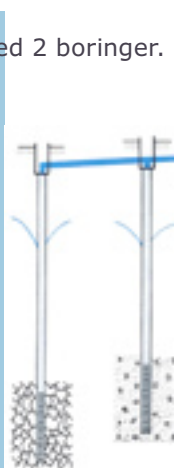
En vandforsyning består af en eller flere kildepladser (hvor grundvandet oppumpes), et vandværk (hvor vandet samles og behandles) og et distributionssystem (der sørger for en stabil tilførsel til forbrugerne).

FRA GRUNDVANDSMAGASIN TIL VANDHANE!

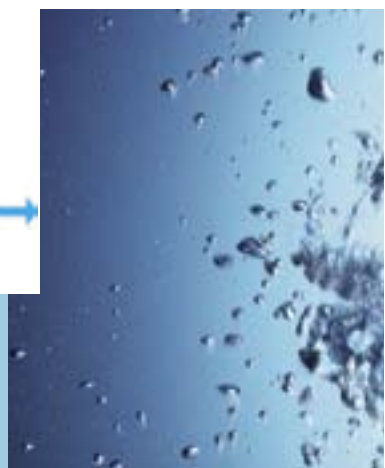
Kildeplads med 2 borer.

Grundvandsspejl

Filter i grundvandet



Behandling af grundvandet fra det modtages på vandværket til det sendes videre til rentvandsbeholderen.



Kildepladsen

Mange små vandværker har kun en enkelt kildeplads med nogle få boringer, og vandværket ligger sædvanligvis ved kildepladsen. Har et vandværk flere kildepladser samles råvandet fra de enkelte boringer i én rørledning, som fører vandet ind til det fjernere beliggende vandværk.

En boring på en kildeplads, består i princippet af et rør, der er boret ned i grundvandsmagasinet. Det nederste stykke af røret er forsynet med fine slidser, så vand, men ikke det omgivende sand, kan trænge ind gennem filteret. Forekommer grundvandet meget tæt på terrænniveau kan boringen være indrettet, så vandet suges op fra jorden ved undertryk (vakuum) fra en pumpe anbragt på overfladen over boringen.

Med en vakuumpumpe kan vandet kun løftes 6-8 m. Derfor er det langt mere almindeligt at anvende en dykpumpe, der sættes ned i selve boringen. Dykpumpen består af en serie centrifugalpumper anbragt i en søjle, så vandet sendes fra ét trin (pumpehjul) til det næste, idet det hele tiden tilføres mere og mere energi, indtil det kan løbe ind til vandværket eller til en samleledning på kildepladsen.

Vandværket

Her foretages en fysisk/kemisk behandling af råvandet. Den måde, som råvandet skal behandles på afhænger af dets indhold af opløste ioner og gasser. Dog er den yderst simpel i forhold til behandling af vand fra søer og vandløb.

En almindelig måde at behandle det oppumpede grundvand på, består i først at lede det over en iltningstrappe. Her falder det ned over en række trin, så ilt fra luften kan blandes godt ind i vandet. På iltningstrappen afgives opløste luftarter, fx ildelugtende og giftig svovlbrinte, og jern- og manganforbindelser iltes.

Herefter ledes vandet igennem to sandfiltre, et forfilter, der fjerner en stor del af vandets indhold af mangan, og et sandfilter, der især sørger for fjernelse af jernforbindelser. Nu kaldes vandet for rentvand og det ledes fra filteret ind i en stor opbevaringstank (rentvandsbeholder) på vandværket.

Distributionen

På det østlige Sjælland mellem Ringsted og Køge findes et stort vandværk, Regnemark vandværk, der leverer vand til København. Her rummer rentvandsbeholderen 12.000 m³ vand. Seks store pumper, hver på 500 HK kan pumpe rentvandet ind til København i en 38 km lang ledning, der har en diameter på 1,2 m. Maksimalt kan pumpes 1,7 m³/s. I København føres vandet op i en højdebeholder med en kapacitet på 309.000 m³, og det højeste niveau for vandspejlet er 50,1 m over havniveau.

I visse byer kan nogle bo højt i bakkeområder, mens andre bor langt nede i dalene. Derfor inddeles byen i zoner, som hver

forsynes fra en lokal vandbeholder. Tidligere var denne sædvanligvis et vandtårn, hvorfra vandet ved tyngdekraftens hjælp kunne løbe ud til de enkelte husstande. I de senere år har udvikling af avanceret elektronisk pumpestyring gjort det muligt at erstatte vandtårnene med nedgravede vandbeholdere, hvorfra vandet med et konstant vandtryk udpumpes til forbrugerne.

En fordel ved højdebeholderen er, at dens store reservoir tillader, at de daglige variationer i vandforbruget kan udjævnes (stort vandforbrug på visse tider af døgnet, beskedet om natten). Derved kan indvindingen ude på kildepladserne foregå så jævnt som muligt, hvilket erfaringsvis giver den mest ensartede kvalitet af det oppumpede grundvand og færrest problemer i vandbehandlingen.

Fra højdebeholderen fordeles vandet ud til de enkelte husstande og virksomheder gennem et vidt forgrenet net af forsyningsledninger. Gennem store rør fordeles vandet til forskellige områder, og efterhånden bliver ledningerne mindre og mindre jo færre forbrugere, der er tilbage på forsyningsledningen. Typisk varierer ledningen fra 30 til 5 cm i diameter.

Iltning af vand på en iltningstrappe

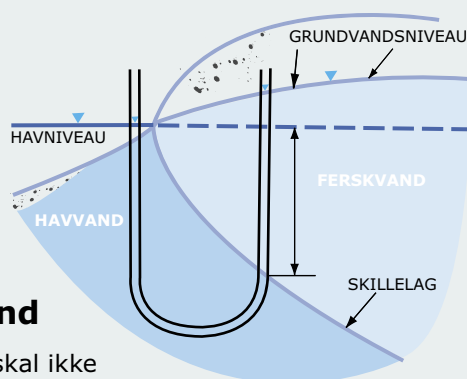


FOTO: GEUS



Mette Ryom studerer geologi, geofysik og grundvand ved Aarhus Universitet.

Hendes speciale er udnyttelsen af elektriske metoder til kortlægning af saltvandsgrænsen i kystområder, og som en del af studiets 5. år opholder hun sig to måneder i Nicaragua. Her skal Mette hjælpe med tilrettelæggelse af grundvandsoppumpning nær Stillehavskysten, hvor man søger at opnå optimal vandindvinding til kunstvandingsformål uden at miste drikkevandskvaliteten i grundvandet.



Grundvandet flyder på saltvand

Hvis man graver gennem det tørre sand ved stranden, når man let grundvandet, som tydeligvis står i samme niveau som havet, og som smager udrikkeligt salt.

Længere inde i landet vil det ned-sivende regnvand, på grund af forskellen i massefylde mellem fersk og salt vand, lægge sig som fersk grundvand, der flyder som en pude oven på saltvandet på samme vis som et isbjerg flyder i havet. En lille del af det lette vand stikker op over havniveau, mens størstedelen stikker dybt ned under overfladen.

For vand, der har en massefylde på $1,025 \text{ g/cm}^3$, ca. svarende til vand i Nordsøen, er det stykke, det ferske vand stikker op over havniveau ca. $1/40$ af dybden til grænsen mellem det ferske og det salte vand – saltvandsgrænsen.

Når man indvinder vand i en boring fjerner man noget af det ferske vand fra den del af puden, som er med til at trykke saltvandet ned. Derfor flyttes grænsen mellem fersk og salt vand op, og pumper man for meget, kan det føre til, at saltvand trænger helt op til zonen omkring pumpen.

Der skal ikke være meget salt i vandet, før det ikke smager godt. Internationalt er man enedes om, at drikkevand ikke må indeholde mere klorid end 300 mg/L , hvilket er ca. 50 gange fortyndingen af almindeligt havvand. På denne måde kan grundvandet let ødelægges, så man må opgive videre vandindvinding på det pågældende sted i lang tid fremover. Det er sket flere steder i tidens løb ved byerne langs Sjællands og Fyns kyster og ved de østjyske fjorde.

Det forhold, at den elektriske ledningsevne stiger med saltindholdet, anvendes flere steder til at overvåge, om saltvandsgrænsen er på vej op i en kritisk zone. På nogle vandværker, fx Søndervig Vandværk på Holmsland Klit, er der sat elektriske følere i forskellige dybder under det område, hvorfra man indvinder vand. Derved kan man fra vandværket se, om der er risiko for saltoptrængning når vandforbruget er størst om sommeren. Man kan også overvåge saltvandsgrænsen med elektriske målinger på jordoverfladen på samme måde som ved kortlægning af skjulte lerlag.

i PERSPEKTIV

Udgivet af Fysikforlaget med støtte fra Undervisningsministeriets tips/lotto midler og af Birch & Kroghoe Fonden

Redaktion: Niels Elbrønd Hansen
Layout: Mette Qvistoff

Produktionsgruppe: Steen Christensen,
Niels Elbrønd Hansen (fagredaktør),
Bo Holm Jacobsen,
Keld Rømer Rasmussen og Ole Schmidt

Forsidefoto: Sucre Salé

www.perspektiv.gymfag.dk

Tryk: Budolfi Tryk, Aalborg
Oplag: 10.000