

2012

# geoviden

GEOLOGI OG GEOGRAFI NR. 2

## SALT

- SALT – ET VIGTIGT MINERAL
- SALTET I DANMARKS UNDERGRUND
- SALT GRUNDVAND – VANDET UNDER DET FERSKE GRUNDVAND
- NORDENS FØRSTE STORINDUSTRI – SALTPRODUKTIONEN PÅ LÆSØ (1150–1652)



# SALT

**S**alt er et mineral, som vi alle kender og bruger hver eneste dag. Alligevel er det nok de færreste, der tænker på, hvor det kommer fra.



Vi kan ikke undvære salt. Det er nødvendigt for flere kropsfunktioner, bl.a. for at nerverne kan sende signaler rundt til muskler og dermed bevægeapparatet, men de saltmængder, vi har brug for, er faktisk så beskedne at bare ét enkelt gram salt om dagen er nok. Lidt mere end denne mængde kan vi godt tåle, men hvis portionen øges væsentligt, er der risiko for negative påvirkninger af helbredet, fx forhøjet blodtryk og relaterede hjerteproblemer, og et forhøjet indtag af salt regnes for ligeså sundhedsskadeligt, som hvis vi får for meget sukker eller fedt i kosten. I visse situationer kan det dog være nødvendigt at indtage lidt mere end den anbefalede dagsdosis; fx når man sveder meget, enten fordi det er meget varmt eller fordi man dyrker sport, for med sveden følger også et salttab, der skal genoprettes for at holde den bedste saltbalance i kroppen.

Salt bruges til mange formål. Ud over de forholdsvis begrænsede mængder, der bruges i tilberedningen af vore måltider, benytter vi salt i store mængder som tømiddel på gader og veje, når vinteren lægger sin dyne af sne eller præventivt for at undgå at våde vejbaner fryser til is. De fleste har sikkert vintrene 2009–10 og 2010–11 i frisk erindring, for de blev oplevet som både længere, koldere og mere snefyldte, end mange forudgående vintre. Og det var ikke kun Danmark, der var ramt. I store dele af Europa døjede man med masser af sne og glatte veje og lagrene af vejsalt løb tør før foråret vendte tilbage. Vores egne forsyninger af vejsalt fra brydningen af salt i salthorste ved Mariager Fjord kunne slet ikke følge med efterspørgslen og det kunne salt fra Tyskland og Middelhavsområdet heller ikke. På et tidspunkt blev vejsalt sejlet til Danmark helt fra Ægypten, men kun for en stakket tid, for så blev det for koldt i Ægypten til at producere salt.

Selv om salt er effektivt som tømiddel, er brugen af det ikke uden bivirkninger for miljøet.

I maj–juni måned sladrer de smukke lyserøde blomster i vejkanterne, engelskgræsset, om at der er blevet saltet på vejene. Engelskgræssets naturlige voksested er de salte strandenge langs kysterne og det ville ikke gro langt inde i landet, hvis det ikke var hjulpet på vej af saltning. En del af saltet forsvinder ned i jorden med smeltevand og regnvand, og noget af det vil på et tidspunkt nå frem til vores grundvand, hvoraf en del er gode drikkevandsressourcer. Og drikkevandet presses fra flere sider. Allerede nu forurenes grundvandet langs kysterne af havvandet og det vil kun blive værre ved et stigende havniveau, ikke mindst i kombination med intensiv pumping. Endelig kan drikkevandsressourcerne også blive påvirket negativt af optrængende salt grundvand fra dybere lag.

Hvor kommer saltet så fra? En væsentlig del af den danske saltproduktion kommer fra de omtalte salthorste ved Mariager, hvor udvindingen har stået på siden 1966. Her er der tale om flere hundrede millioner år gamle aflejringer, der ligger så tæt under jordoverfladen, at de kan udnyttes. Kun nogle få steder i verden kommer sådanne gamle saltaflejringer helt op i terræn. Det gælder fx i et område i Nordspanien, lige syd for Pyrenæerne, hvor saltforekomsten til forveksling ligner gletsjeris, se foto på forsiden. Andre steder, som i Middelhavsområdet og Ægypten benytter man solens varme til at inddampe det salte havvand i store bassiner. Endelig kan man inddampe saltet ved at opvarme salt havvand. Denne proces hedder at syde og den har i middelalderen været vidt udbredt på Læsø, hvor der findes særligt salt grundvand. I dag sydes der salt på Læsø og ved Mariager.

Alt dette og meget mere kan du læse om her i bladet.

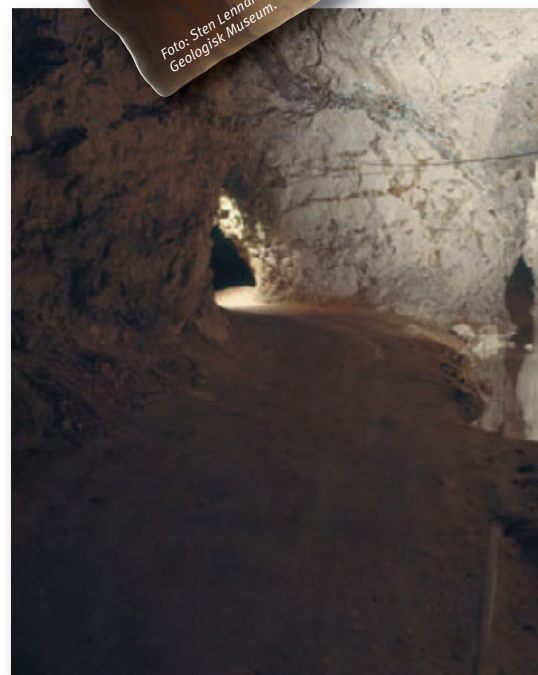


Nysaltet landevej og blomstrende engelskgræs.  
Fotos: Carsten E. Thuesen og Merete Binderup, GEUS.

Stensalt boret op fra Danmarks undergrund. Stensalt som dette dækker en væsentlig del af det danske saltforbrug.

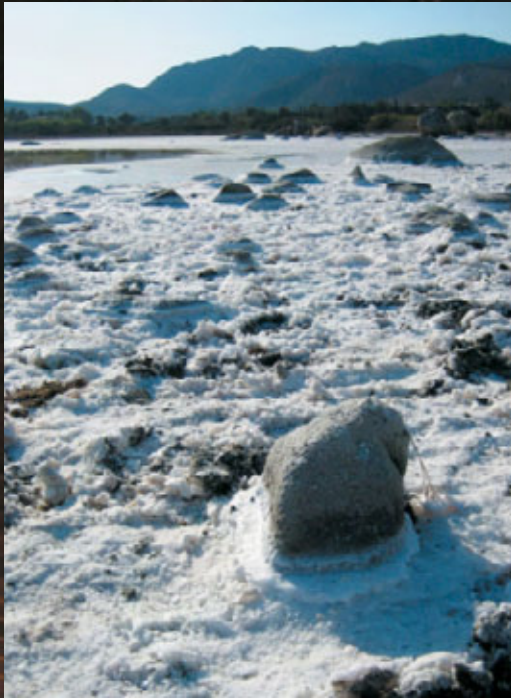


Foto: Sten Lennart Jacobsen, Geologisk Museum.



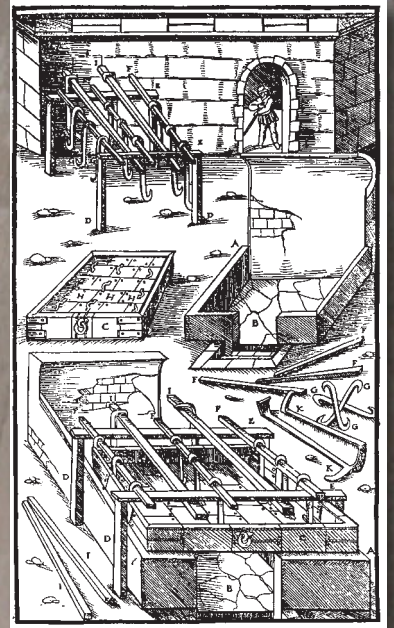
Mønsted kalkminer er udgravet i danske-kalken, der er bragt op til nærheden af jordoverfladen på grund af saltflydningsaktiviteter i Mønsted Salthorst.

Foto: Peter Warna-Moors, GEUS.



Saltdannelse i en naturlig 'saltpande' i Villasimius, det sydlige Sardinien. Det lavvandede laguneområde overskyldes af havet om vinteren, men om sommeren er fordampningen så stor, at vandet forsvinder og saltet udfældes.

Foto: Henrik Klinge-Pedersen, GEUS



Konstruktionstegning for en saltpande. Tegningen stammer fra Georgius Agricolas: 'De re metallica' fra 1556, som den er gengivet i Jens Vellev: Saltproduktion på Læsø, i Danmark og i Europa, 1993. Til de mange bogstaver hører detaljerede forklaringer.



Fra sydehytte på Læsø Saltsyderi, hvor der sydes i store kar, som varmes op ved hjælp af brænde. Efterhånden som saltet udkrystalliseres, skovles det op i kurvene, hvor det står og drypper af, inden det kommer udenfor på store tørreborde. Efter 'salthøsten' anvendes den tilbageværende luge til helende bade for psoriasispatienter, der ikke længere behøver at rejse den lange vej til Det Døde Hav, men kan blive behandlet på Læsø.

Foto: Merete Binderup, GEUS

**MERETE BINDERUP**

Seniorforsker, GEUS.  
mb@geus.dk

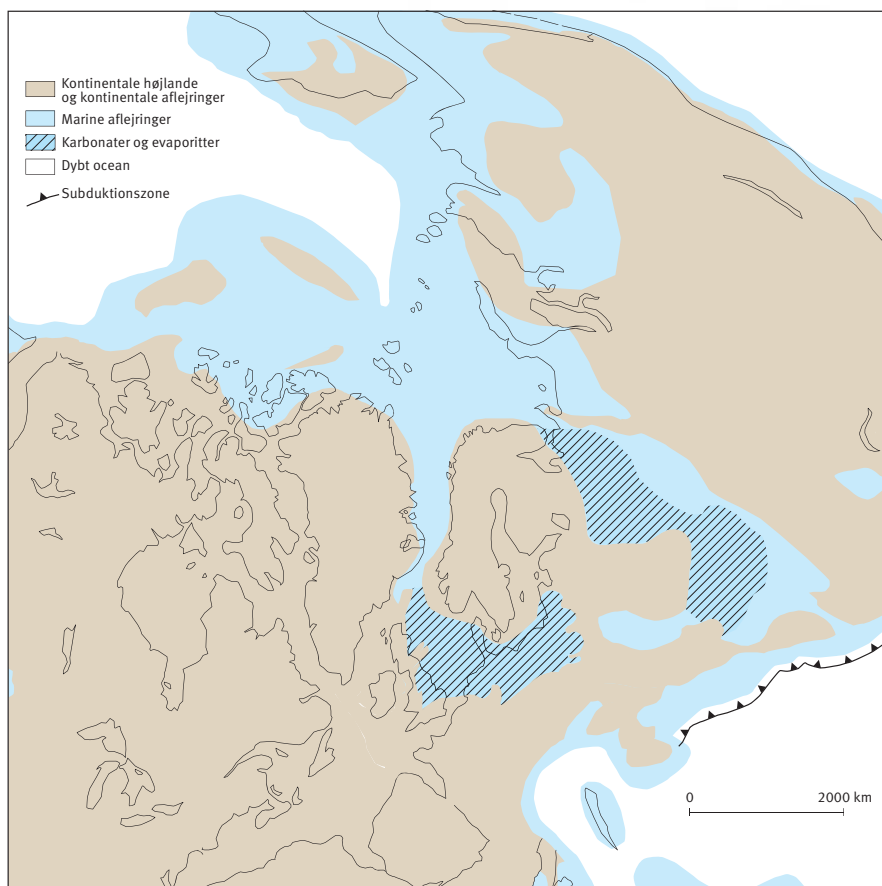
# SALTET I DANMARKS UNDERGRUND

**S**ent i Perm tid lå Danmark i læ bag de hercyniske bjerge mod syd og under en ubarmhertig sol: ikke ligefrem et yndigt land. Mere Mojave ørken end Paradis. Kortvarigt blev det til et hav med forbindelse til det daværende nordlige ocean hvori aflejredes et tykt saltlag. Sådan ca. 1 km tykt. Det saltlag har haft stor betydning for Danmarks position som producent af olie og gas på grund af saltets flydning og dermed dannelse af fælder for olie og gas. Andre steder i verden danner et tilsvarende saltlag perfekt forsegling af olie- og gasforekomster – af ofte gigantiske dimensioner. Salt til morgenægget kommer vi ikke til at mangle. Historien startede en sommerdag i Perm!

I slutningen af Palæozoikum, i Perm tid (299–251 mio. år før nu), blev der aflejret et tykt lag af stensalt i næsten hele Danmarks undergrund. Det har sat et umiskendeligt fingeraftryk på strukturen af Danmarks undergrund, selv om det intetsteds kan iagttages ved overfladen. Det har også haft stor økonomisk betydning for Danmark. Hvordan skete det?

## FORHISTORIEN

I løbet af Palæozoikum kolliderede kontinenterne, hvilket førte til dannelsen af superkontinentet Pangæa. Således kolliderede Laurentia (Nordamerika og Grønland) med Baltica i Silur tid (ca. 444–416 mio. år før nu) og dannede det nye kontinent Laurusia. Kontinenterne Siberia og Kazachstan blev senere føjet til østranden af Laurusia. Samtidig foregik der en kollision langs Laurusias sydlige margin med kontinentet Gondwana. Kollisionen mellem Gondwana og Laurusia førte til dannelse af den variskiske (hercyniske) foldekæde. Pangæa var således en veletableret geografisk kendsgerning i Perm tid, og kom også nogenlunde helskindet gennem Trias tid (ca. 251–





Fordeling af kontinenterne i sen Palæozoisk tid, hvor superkontinentet Pangea var dannet gennem kollision af en række mindre kontinenter, bl.a. Baltica og Laurentia. 'Danmarks' beliggenhed er den overordnede forudsætning for, at der blev dannet et massivt saltlag i undergrunden. Området lå nær den nordlige vendekreds, hvor det var skærmet for fugtigheden fra et varmt ocean mod sydøst af de variske bjerge og det kun var forbundet med et køligere ocean mod nord via en række lavvandede shelfhøje. Bassinet, hvori saltet blev aflejret, kendes under navnet Perm bassinet.

Kilde: J. Golonka, Arctic Petroleum Geology, Geol. Soc. of London, 2011.

200 mio. år før nu), men i Jura begyndte en langvarig opsplittingsproces, der stadig pågår. Aflejringen af saltet i Danmarks undergrund hører til i det kapitel i vor geologiske historie, som har overskriften Pangæa.

**SALT OG ANDRE EVAPORIT-BJERGARTER**

Vand indeholder altid en vis mængde salte i opløsning og ved inddampning kan disse salte nå en koncentration så høj, at de begynder at udfældes. Fordampning af vand kaldes også for evaporation. Bjergarter der dannes ved ud-

fældning af salte fra vand under inddampning kaldes således evaporit-bjergarter, eller blot evaporitter.

Fra et mineralogisk synspunkt er der to hovedtyper af evaporitter: marine og non-marine. De marine er de mest simple, da havvand har en forholdsvis forudsigelig kemisk sammensætning og dermed forudsigelig rækkefølge af udfældede mineraler under inddampning, så længe der er tale om et lukket system. Ikke desto mindre kendes der flere snese marine evaporit-mineraler, hvortil kommer en lang række mineraler i non-marine evaporitter. Non-marine evaporitter dannes i to hovedmiljøer: i søer, de såkaldte playa-forekomster, som Great Salt Lake i det vestlige USA eller de ekstremt højtliggende saltsøer på Altiplani-sletten i Andesbjergene, eller i strandzonen i tørre klimaer. Sidstnævnte kaldes også for sabkha-forekomster, og Den Persiske Golf er et eksempel herpå. Disse evaporitters udgangsmateriale er meget mere variabel end de marine evaporitters og deres dannelse kræver også medvirken fra grundvandsprocesser i tilgift til simpel fordampning. Vi vil nøjes med at beskrive de marine evaporitter, der spiller så stor en rolle i den danske undergrund.

Ved inddampning af havvand er de første mineraler, der udfældes, karbonater og sulfater af calcium. De mineraler der dannes er dolomit, gips og anhydrit. Derefter udfældes stensalt og i tredje fase sulfater og klorider af Mg og K, de såkaldte bittersalte. Mineralerne der dannes i tredje fase er salte som sylvit, carnallit, bischoffit og kieserit. Under hele inddampningsforløbet er Cl den dominerende kation i den vandige opløsning. Saltopløsningen, indtil ca. halvdelen af vandet er fordampet, er en Na-Cl-brine. Brine er den engelske betegnelse for saltopløsning. Denne brine ender med at have en vægtfylde på ca. 1,25 og Mg og K bliver mere og mere dominerende. I den sidste del af inddampningsforløbet overhaler først Mg, dernæst også K, Na som den vigtigste kation. I

denne del af forløbet kalder man den salte opløsning for en Mg-Cl-SO4-brine og med øgende inddampning stiger vægtfylden til ca. 1,3.

Det bemærkelsesværdige ved marine evaporitter er ikke den kendsgerning at de findes. De er aflejret gennem det meste af Jordens historie og vidner blot om, at tørkeprægede klimazoner ikke hører til undtagelserne. Evaporitter er den hovedgruppe af sedimentter, som mest entydigt fungerer som klimaindikator. Det bemærkelsesværdige ved deres forekomst er den mængde, de kan forekomme i. I den danske undergrund findes de således i lag på op til ca. én kilometers tykkelse. Og andre steder findes de i mange kilometers tykkelse.

Salt bevares sjældent i sin oprindelige tykkelse, idet det over geologisk tid er plastisk (kan flyde) og oveni købet er letflydende. Meget tykke evaporit-lag består altid overvejende af stensalt og dette afspejler den kendsgerning, at Na og Cl er de mængdemæssigt vigtigste ioner i havvand. Areal-mæssigt store og tykke saltaflejringer er ikke daglig kost i den geologiske historie.

**De vigtigste marine evaporitmineraler**

Dolomit	CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>
Gips	CaSO <sub>4</sub> .2H <sub>2</sub> O
Anhydrit	CaSO <sub>4</sub>
Stensalt	NaCl
Bischoffit	MgC <sub>2</sub>
Sylvit	KCl
Carnallit	KCl.MgCl <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O
Kieserit	MgSO <sub>4</sub> .H <sub>2</sub> O

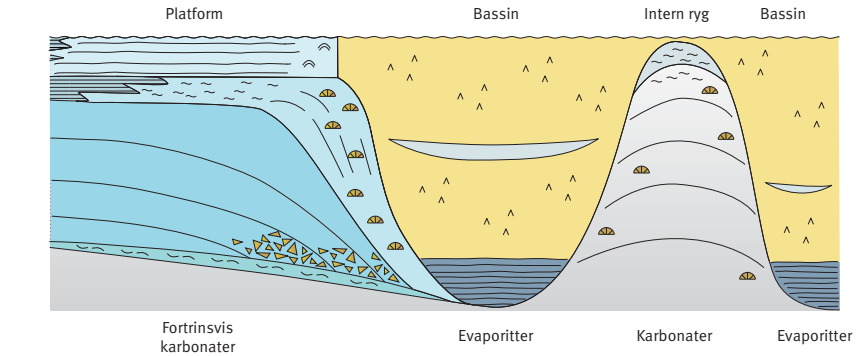
**KAI SØRENSEN**

Adjungeret seniorrådgiver, GEUS.  
ks@geus.dk

## PERM BASSINET I NORDVESTEUROPA

For at få aflejret tykke lag af evaporitter må man forestille sig en situation hvor havarme afsnøres helt eller delvist, således at der fordampes mere havvand end der tilføres frisk havvand. En skematisk fremstilling af denne 'bassin-med-tærskel-model' kan se ud som vist på figuren til højre. Det nuværende Middelhav er et nærliggende eksempel. Her var Gibraltarstrædet periodevist lukket for ca. 5 mio. år siden og i bassiner, som nu er yderligere indsunket, blev der mange steder aflejret kilometer tykke lag af stensalt i løbet af nogle få hundredtusinder af år.

En tilsvarende situation fandtes i et stort bassin beliggende henover den nuværende Nordsø, Danmark og Nordtyskland og det nordlige Polen, Perm bassinet, for ca. 260 mio. år siden. I dette bassin – eller bassiner, idet der kan skelnes både et nordligt og et sydligt, blev der aflejret et kilometer tykt lag af evaporitter, hovedsagligt stensalt. Den snævre forbindelse til verdenshavet gik via området mellem Norge og Grønland, altså nordover til en arm af det 'urpacificke ocean'. Og når man ser

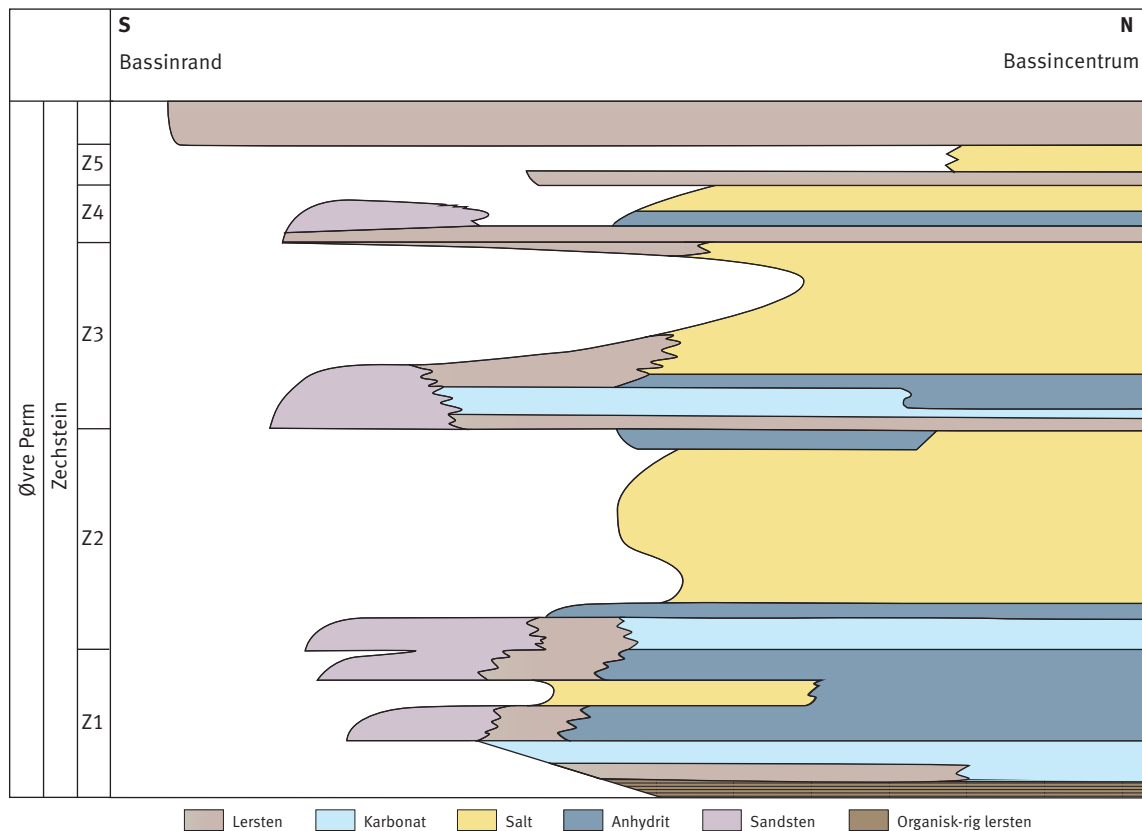


En model for dannelsen af tykke saltaflejringer: et profil gennem et dybt bassin, der får tilført vand til kontinuerlig fordampning via et platformsområde. Højderyggen, der ligger ude i bassinet, kan sammenlignes med Ringkøbing-Fyn Højderyggen i det daværende Zechstein bassin.

Kilde: J.K. Warren: *Evaporites*. Springer 2006.

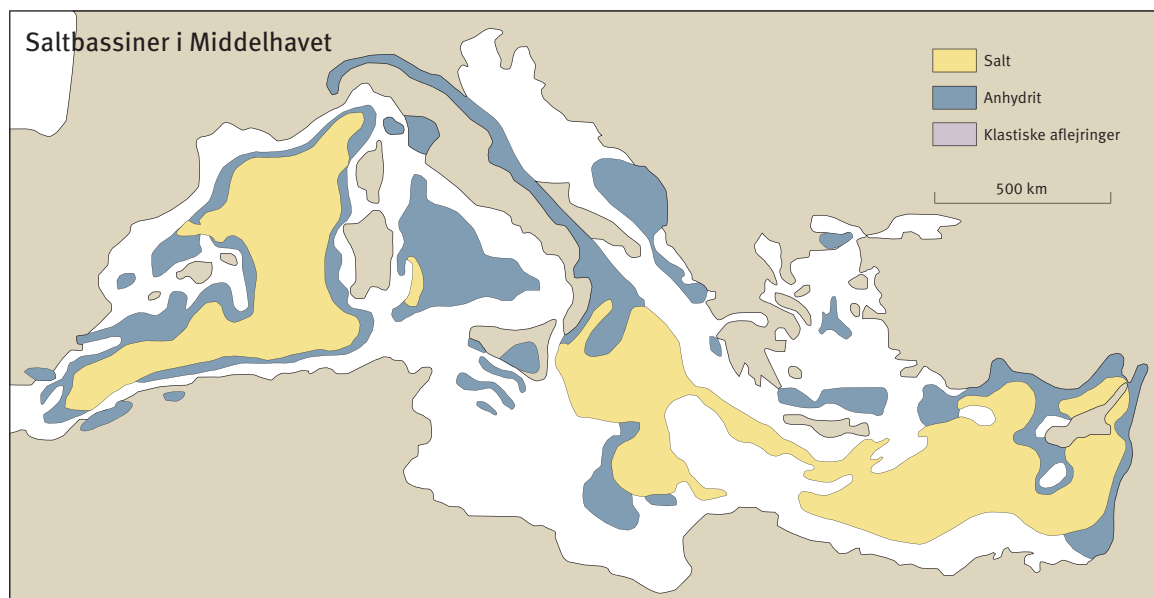
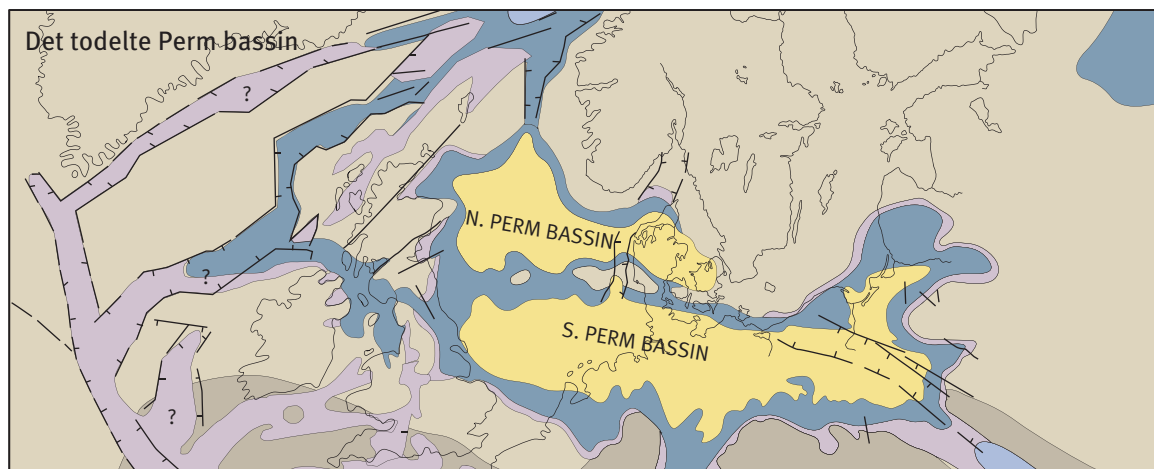
på den daværende geografi er det ikke svært at forestille sig hvordan denne langstrakte havarm, der nåede fra måske subarktiske havområder til subtropiske og videre til tropiske bassiner dybt inde i Pangæa, kunne levere salt vand til Perm bassinerne og endda lejlighedsvis blive afsnøret. Vi ved at det skete og der ser ud til at have været fire overordnede inddampningsbegivenheder, i Tyskland kaldt Z1–Z4, se figuren nedenfor. For at danne et kilometer tykt lag af stensalt kræves inddampning af mange

bassinfulde af havvand. Man skal således ikke tænke sig fire 'enkle' afsnøringer, men snarere fire distinkte perioder med delvist åbne forbindelser til verdenshavet, således at der løbende var delvis erstatning af fordampet vand med frisk havvand. Og det skal noteres, at der ikke er enighed om hvilke mekanismer, der styrer aflejringen, og stratigrafien, af de marine saltgiganter!



Skematisk profil gennem det sydlige Perm bassin, som viser den overordnede cyclicitet og ændringerne i aflejringernes litologi (faciesændringer) fra bassinets rand, der er til venstre i figuren, til dets centrale dele, hvor stensalt er den dominerende litologi.

Kilde: J.K. Warren: *Evaporites*. Springer 2006.



Det todelte Perm bassin sammenlignet med de 'næsten' nuværende (af Messinien alder, ca. 6 mio. år gamle) saltbassiner i Middelhavet, der bl.a. har givet ophav til den spektakulære påstand, at en barriere ved Gibraltar lejlighedsvis blev gennembrudt, med dannelsen af et gigantisk vandfald dér som konsekvens (prøv evt. at google 'the Mediterranean was a desert'). De salt-dominerede bassiner var omgivet af randzoner, hvor anhydrit dominerede. I de senere år er der i undergrunden under det østlige Middelhav fundet meget store mængder af naturgas forsejlet af det plastiske salt. De enorme gasmængder i det sydlige Perm bassin er bevaret til i dag netop på grund af saltets gode forsejlingsegenskaber.

Kilder: P.A. Ziegler: Evolution of the Arctic-North Atlantic and the Western Tethys. AAPG 1988, og J.K. Warren: Evaporites. Springer 2006.

## SALTET I DEN NUVÆRENDE UNDERGRUND: NORDJYLLAND

En del af det nordlige Perm bassin ligger under det nordlige Jylland, hvor saltet har samlet sig i en række saltstrukturer, der kan følges hele vejen op gennem lagene, der er aflejret siden saltets aflejring. På kortet side 8 ser man et eksempel. Dette kort over dybder ned til Trias viser en halo (Vejrum, Sevel, Mønsted etc.) af salt-diapirer (tommelfingerformet struktur) rundt om et område, hvor saltet dels er helt væk (i det flade område mellem boringerne Rødding-1 og Oddesund-1), dels danner en mindre pudestruktur, Skivestrukturen.

Dannelsen af saltstrukturer har været et emne for fortolkning siden reflektions-seismikken

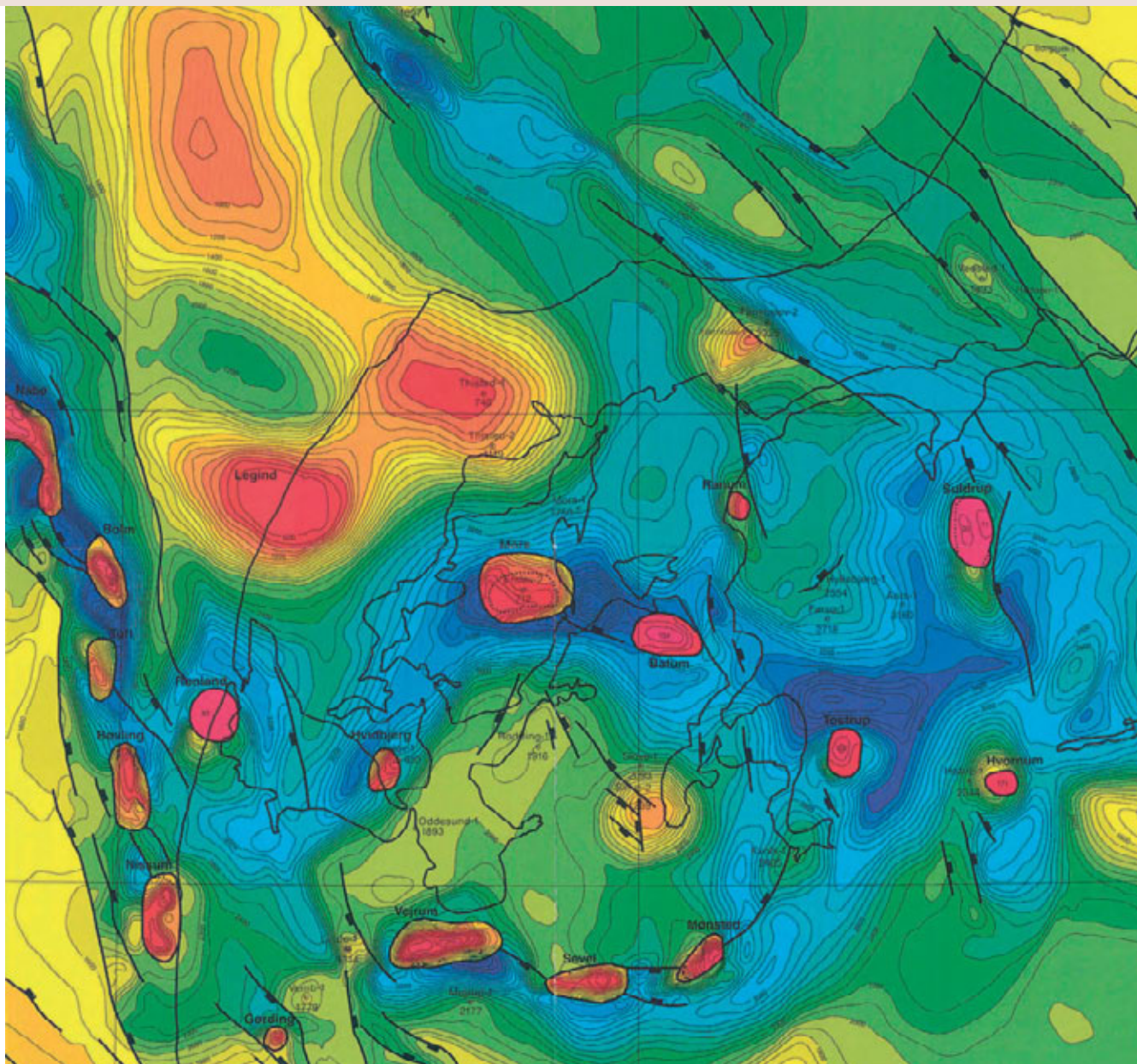
blev opfundet i 1930'erne (i Tyskland) og kendskab til spillet mellem saltstrukturer og sedimentære bassiner er vigtigt for dem der efterforsker bassinernes ressourcer af fx olie og gas. Perm bassinets saltstrukturer danner diapirer, puder og vægge med dimensioner i kilometerstørrelse. Deres dannelse er formentlig altid knyttet til dannelsen af forkastninger. En opfattelse som støttes af den kendsgerning, at ustrukturert salt i Nordsøbassinet kun findes i områder, hvor saltet er horisontalt og hvor bassinet er uforstyrret af forkastninger yngre end saltet.

Nøglen til forståelse af saltstrukturer ligger i sedimenterne, der omgiver saltet og pointen er, at flydning af salt ind mod centrum af strukturen skaber plads til sediment. Deres tykkel-

sesvariationer er derfor nøglen til forståelse af udviklingen af saltstrukturer. Derudover vil afbrydelser i sedimentationen skabe strukturer, som gør den eksakte tolkning af strukturerne til en kompleks opgave. Dannelsen af en idealiseret Zechstein saltstruktur – en struktur hvor væsentlige sedimentationsafbrydelser i det omgivende bassin ikke forekommer – er vist i figuren side 9.

## SALTET SOM EN RESSOURCE

Udvinning af salte fra evaporitter er en vigtig industri. Netop fordi vi kender til undergrundens salt, tager vi det for givet at stensalt er tilgængeligt i ubegrænsede mængder, men sådan har det ikke altid været. Saltet har, som



Kort over dybden ned til præ-Jura (ca. 200 mio. år før nu) i Nordjylland. Salt diapirene ses som røde/gule områder begrænset af tykke linjer, idet saltet her ligger tæt på overfladen og afgrænses af forkastninger til de omliggende bjergarter. Fra Hvornum diapiren udvindes salt, der raffineres til salg i Akzo Nobel Salts fabriksanlæg ved Mariager Fjord, syd for Hadsund. Saltpuder ses som ophvælvninger, fx Thistedpuden og Skivepuden. Ved Thisted udnyttes det højtliggende Gassum reservoir til udvinding af geotermisk varme.

Kilde: GEUS.

## SALT

I dele af evaporitaflejringerne kan man se en lagdeling som denne, der er synlig i blottede dele af et evaporitbassin. Der er her tale om salt af Trias alder i Nordspanien, lige syd for Pyrenæerne. Tilsvarende lagdeling kendes fra det sydlige Perm-bassin i Tyskland. Der er det blevet foreslået, at lagdelingen skal forstås som årsvarv, altså årslag. Hvis dette er korrekt, kan man dels undre sig over, hvor tykke saltlagene kan være, dels over hvor hurtigt aflejringen kan have foregået. Hvis det virkelig er rigtigt, at den årlige tykkelse skal måles i centimeter, betyder det at et én kilometer tykt saltlag kan være aflejret på blot nogle få titals tusinde år. (Målestok: kameradæksel).

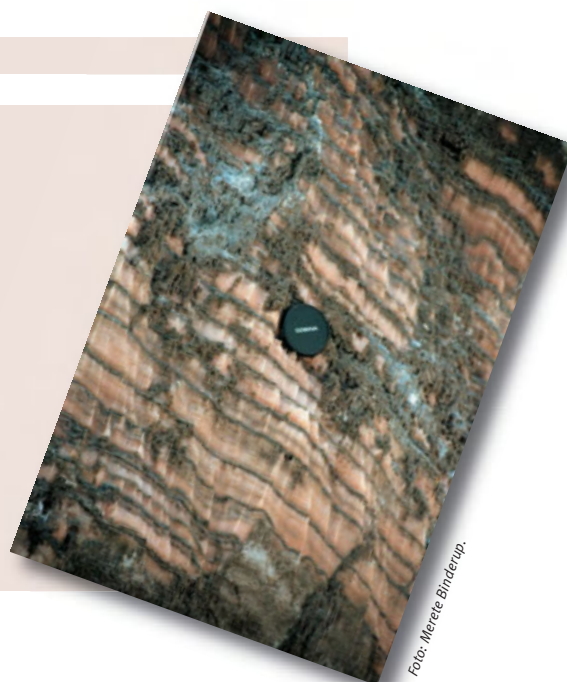
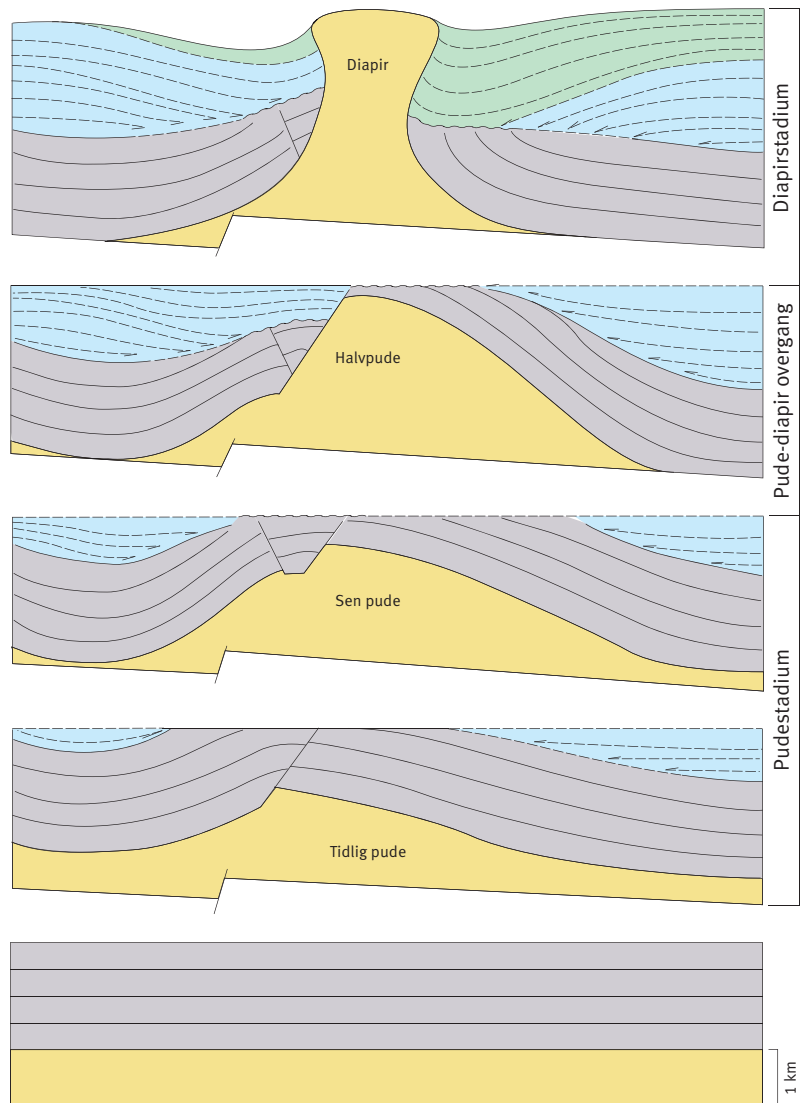
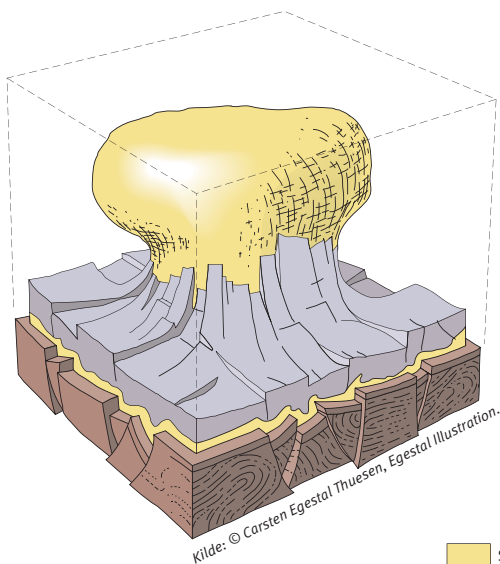


Foto: Merete Binderup.



Model for dannelsen af en salt diapir i Perm bassinet. De fleste saltstrukturer er dannet hen over forkastninger i undergrunden og dette fører til en asymmetri, som kan spores i alle stadier af strukturens udvikling. Halvpuden, eller halvdiapiren, er ét udtryk for denne asymmetri; forskelle i alder af sedimenterne i bassiner rundt om diapirene er et andet. Hvor der ikke forekommer forkastninger i undergrunden under saltet, kan saltlaget være bevaret i ustruktureret form. I Danmark gælder dette for området mellem Århus og Silkeborg.

Kilde: K. Sørensen, i Petroleum Geoscience, 1997.



mange andre mineralske råstoffer, en kulturhistorie, der går tilbage til præ-historien, og har været anvendt både til konservering af madvarer såvel som til menneskelig ernæring. I dag er produktionsomkostningerne forsvindende og der bruges flere midler på emballering og markedsføring af saltet end på selve produktionen. I Danmark udvindes stensalt ved udvaskning fra Hvornum salt diapiren, se figuren side 8. Den salte opløsning (brine) pumpes i rørledning til Akzo Nobel Salts produktionsanlæg ved Mariager Fjord.

På verdensplan udvindes der ca. 200 mio. tons salt årligt. Omkring en tredjedel kommer fra salt i undergrunden, mens en anden tredjedel produceres via inddampning af havvand. Resten stammer fra inddampning af brine

hentet op fra undergrunden. Der produceres 600.000 tons salt pr. år fra Hvornum diapiren.

Kaliumsalte udvindes også i stor stil og anvendes især i gødningsindustrien. Kalium er en af de tre primære plantenæringsstoffer – sammen med fosfor og nitrogen – og det er således et uerstatteligt grundlag for den landbrugsproduktion, der er nødvendig for at brødføde verdens befolkning. Kalisaltene er de mest opløselige af evaporit-mineralerne og altså dem der sidst udfældes. Den største del af kaliproduktionen kommer fra mineralet sylvit og fra kvartære playa-forekomster såvel som fra geologisk 'gamle' forekomster, deriblandt fra Perm salt i Tyskland, der er verdens fjerdestørste producent, og Devon salt i Canada, der er verdens største producent af kalisalte.

Det er ikke lykkedes at påvise økonomisk udvindelige mængder af kalisalte i de danske saltstrukturer.

Der udvindes også andre salte fra evaporitter, fx gips og borater, men i en dansk sammenhæng har saltet dog størst betydning på indirekte vis, nemlig som underliggende årsag til dannelse af de strukturer, som mange olie- og gasforekomster i Nordsøen skylder deres tilblivelse. Det er strukturer, der på mange måder ligner de nordjyske strukturer, som illustreres på figuren side 8. Olie- og gasforekomsterne findes i kridtbjergarter draperet henover de underliggende saltstrukturer, altså i bjergarter, der tilhører den postdiapiriske fase. Men det er en anden historie. 🌐

# SALT GRUNDVAND VANDET UNDER DET FERSKE GRUNDVAND

**G**rundvand består ikke kun af ferskvand, hvad vi er tilbøjelige til at tro, men også af saltvand, som på grund af sin højere vægtfylde ligger neden under ferskvandet. Det salte vand udgør en begrænsning for hvordan og hvor man kan indvinde drikkevand i Danmark. Det stigende havniveau på verdensplan med indtrængning af havvand ved kysterne vil blive et problem for tilgængeligheden af drikkevand.

Alt grundvand i Danmark er naturligt lagdelt med fersk grundvand ovenpå salt grundvand. Men mange geologer arbejder i dag med grundvand uden at tænke på, hvad der findes under ferskvandet. Egenskaberne ved dette salte grundvand varierer meget både hen over Danmark og med dybden, da indholdet af salt og vandets oprindelse er vidt forskellig. For eksempel er salt grundvand ikke bare knyttet til salthorste og nutidens kyster, men også til havvand i mio. år gamle aflejringer, hvor havvandet blot ikke er skiftet ud med ferskvand endnu. Udnyttelsen af det salte grundvand har da også en meget lang historie, da salt i gamle dage var, og stadigvæk er, et uhyre værdifuldt råstof.

## SALT GRUNDVAND HISTORISK SET

Salt grundvand har i Danmark været kendt i mindst 500 år. Således oprettede Kong Christian III's dronning Dorothea allerede i 1560'erne et saltværk baseret på salt grundvand ved Harte nær Kolding. Her stoppede udvindingen af salt dog igen efter få år, da det var urentabelt. På sydkysten af Læsø har man siden det 12. århundrede udnyttet salt grundvand som her findes lige under overfladen. Det kan man læse om længere fremme i bladet. Tilsvarende forhold kendes fra andre øer i Kattegat, bl.a. Kyholm ved Samsø.

Helt op til 1970'erne var der store interesser i salt som råstof. Salt grundvand tæt ved overfladen blev dengang brugt til at udpege interessante områder, da en salthorst forventedes

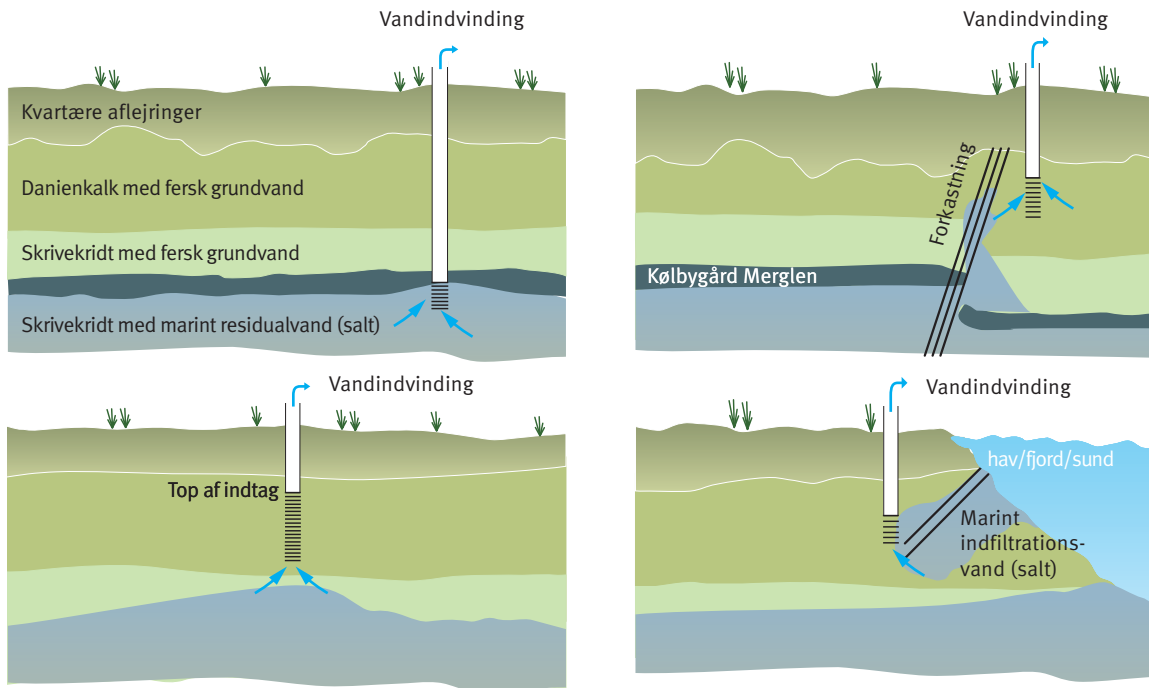


*Dronning Dorothea, som i 1567–68 forsøgte at etablere en egentlig kommerciel udvinding af salt, ved at inddampe salt grundvand. Maleriet er fra 1550. Det er ejet af Museet på Koldinghus, som venligt har givet tilladelse til gengivelse.*



*Steder i Danmark, hvor man kender til problemer med saltvand i forbindelse med indvinding grundvand til drikkevand.*

*Kilde: Vejsaltsprojektet.*



Når vi pumper fersk grundvand op, kan salt grundvand trækkes op fra den dybere undergrund (marint residualvand) eller, i kystnære områder, ved at salt grundvand trænger ind fra havet (marint indfiltrationsvand). Problemet opstår typisk hvis der er boret for dybt eller hvis salt grundvand kan strømme langs forkastninger som gennembryder ellers uigennemtrængelige lerlag.

Omtegnet efter Kristiansen m.fl. 2009.

at være kilden til forhøjede indhold af salte. I dag har salt grundvand igen fået større opmærksomhed, da det især i Østdanmark sætter begrænsninger på hvor og hvor meget drikkevand der kan indvindes.

## VANDETS KEMI

Man fokuserer normalt på klorid, når der tales om opløste salte i grundvand. Dette skyldes, at klorid ikke reagerer med andre stoffer i undergrunden, og dermed er et godt mål for graden af saltpåvirkning.

I mange år har det været svært at finde ud af præcist hvorfra et forhøjet indhold af salte i en drikkevandsboring stammede, da man har manglet gode indikatorer på kilderne. For salt kan stamme fra mange steder, som beskrevet efterfølgende. Saltforurening fra lossepladser o.l. har været lette at identificere, men det har været sværere at skelne om forhøjet saltindhold i en boring stammede fra fx havet eller fra veje. Den seneste forskning har dog vist, at stoffer som strontium og bromid kan bruges til en sådan kildeopsporing.

## SALT I GRUNDVAND – HVORFOR

Fersk grundvand opstår kontinuert ved jordoverfladen som følge af nedbørsoverskud. Opløste salte i nydannet grundvand stammer således fra nedbøren, da denne fører salt ind fra havet, særligt i forbindelse med storme.

Nedbøren ved Vestkysten har derfor de højeste gennemsnitlige kloridkoncentrationer. På landsplan er der også væsentlige bidrag fra landbrugets gødning, tør og våd afsætning på træer m.v., spildevand samt vejsalt.

Tilsammen giver disse kilder et kloridindhold i grundvand som varierer fra sted til sted og fra år til år, men som har en median på 34 mg klorid per liter. I gennemsnit har dansk grundvand et kloridindhold på hele 144 mg/l, men det skyldes alene, at ca. 1 % af alle grundvandsanalyser er meget salte, med en koncentration over 1 g/l.

Under det ferske grundvand findes det salte grundvand. Dette opstår af tre vidt forskellige grunde. For det første har store dele af landet været dækket af hav for millioner af år siden. Det salte grundvand fra den dybe undergrund kan sive op langs forkastninger, ligesom det kan diffundere opad som følge af kompaktion gennem millioner af år. Tætte lerlag som fx Kølbygård Merglen under København kan være skyld i, at fersk grundvand endnu ikke har skyllet saltet ud fra sådanne havaflejringer. For det andet kan salt fra salthorsten være kilder til forhøjede kloridkoncentrationer, da saltet heri langsomt opløses i takt med at horsten presses opad. For det tredje kan der ved kysterne ske det, at havvand trækkes ind under ferskvandet i forbindelse med at ferskvandet strømmer

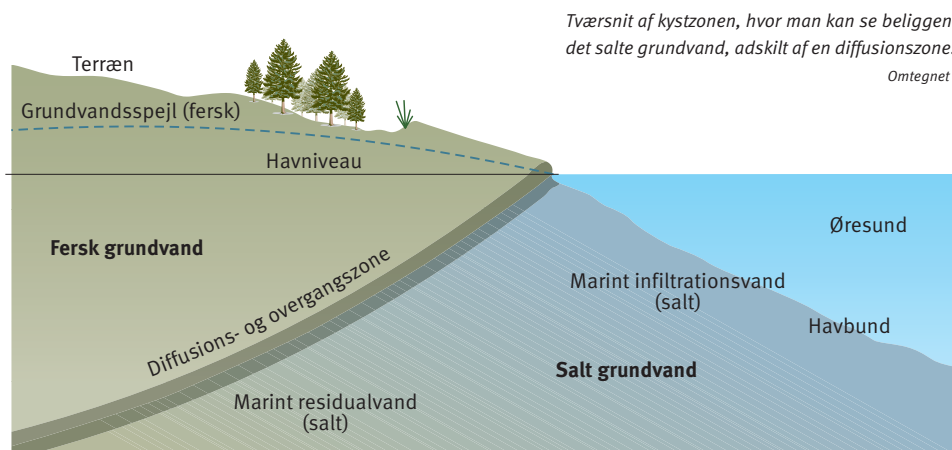
ud i havet eller ved u hensigtsmæssig stor oppumpning. Her er det vigtigt at huske, at saliniteten (mål for totalt indhold af salte) varierer fra 36 ‰ i Nordsøen til mindre end 10 ‰ i Østersøen, så hvor salt grundvand er ved kysterne, afhænger af om man er på Lolland eller ved Jyllands vestkyst.

## HVAD ER SALT GRUNDVAND?

Der skelnes mellem fersk grundvand, salt grundvand og salt, mineralsk grundvand. Grænsen mellem fersk og salt grundvand sættes typisk ved 250 mg klorid per liter. Det salte grundvand inddeles i marint grundvand, hvis saltindholdet er mindre end eller lig med havvands, og i mineralsk grundvand, hvis saltindholdet er højere. I praksis er det svært at afgøre, hvorvidt der er tale om 'marint residualvand' (se side 12) eller 'mineralsk grundvand'. Ved kloridkoncentrationer under havvand, da store dele af landet har været dækket af hav inden for de seneste få millioner af år.

## SØREN MUNCH KRISTIANSEN

Lektor, Geoscience, Aarhus Universitet.  
smk@geo.au.dk



Tværsnit af kystzonen, hvor man kan se beliggenheden af det ferske og det salte grundvand, adskilt af en diffusionszone.

Omtegnet efter Kristiansen m.fl. 2009.

**Salt grundvand** kan underopdeles i 'marint infiltrationsvand' og 'marint residualvand'. Marint infiltrationsvand kan findes ved kysterne, hvor havvand direkte kan strømme ind og findes derfor udelukkende tæt ved de nuværende kyster. Marint residualvand er derimod vidt udbredt i Danmark og findes hvor landhævning og landindvinding har medført, at tidligere havbundssedimenter er bragt op på land. Sådanne marine sedimenter har nemlig saltvand i porehulrummene, som kun langsomt vaskes ud (residual – som er blevet tilbage).

**Mineralsk grundvand** hører den dybe undergrund til. Højere kloridindhold end havvand kan skyldes diffusion fra dybere aflejringer i kontakt med salthorste, som følge af at disse langsomt bliver mere kompakte med tiden.

Mineralsk grundvand kan dog enkelte steder i landet være en kilde til forhøjede kloridkoncentrationer også ved overfladen, sandsynligvis som følge af opsvining langs forkastninger. Dette kendes fx omkring Harte ved Kolding som tidligere nævnt.

### HVOR FINDES DET SALTE GRUNDVAND?

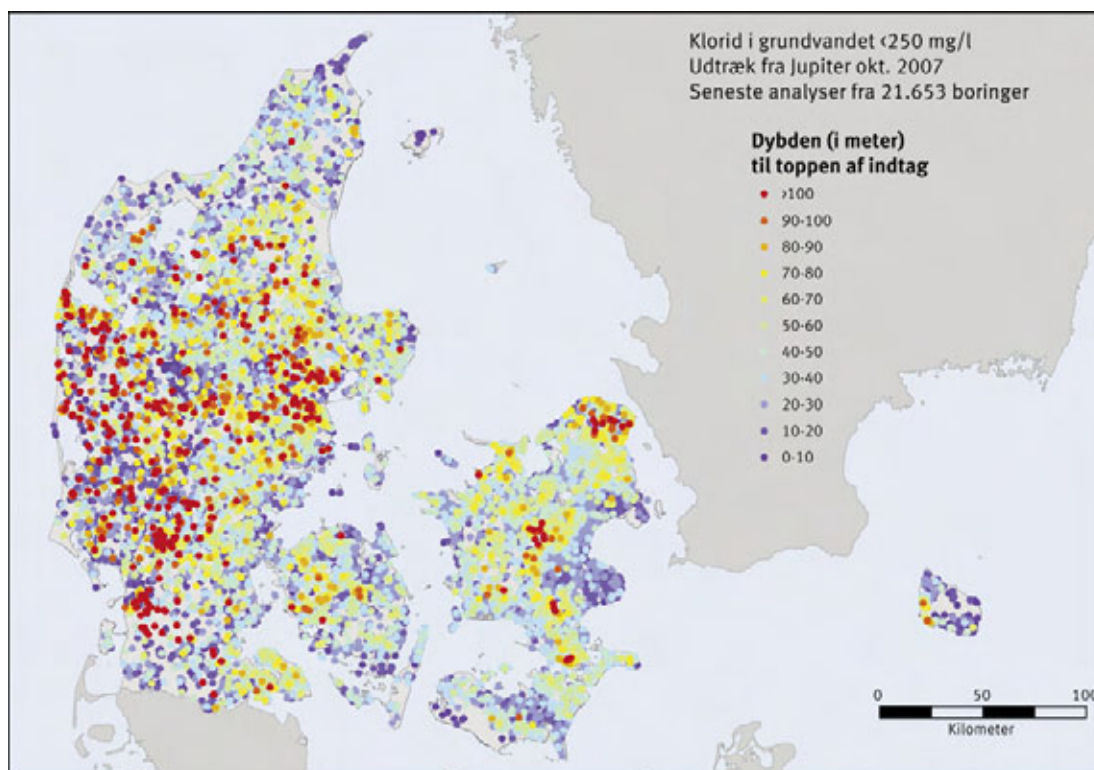
Allerede i 1930'erne opsummerede DGU's senere direktør Hilmer Ødum et betydeligt antal områder med saltvandsproblemer i grundvandet. I dag har vi kendskab til væsentligt flere, men allerede dengang kendte man de fleste egne, hvor der er problemer med salt grundvand.

Dybden til det salte grundvand varierer fra få meter langs vore kyster til 2–300 meter centralt under Jylland. Ferskvandet er således blot

en tynd film ovenpå det salte grundvand. Det salte grundvand findes derimod til mange kilometers dybde, men permeabiliteten af aflejringerne falder generelt med dybden, så mange steder er det meget vanskeligt at pumpe det dybe salte vand op.

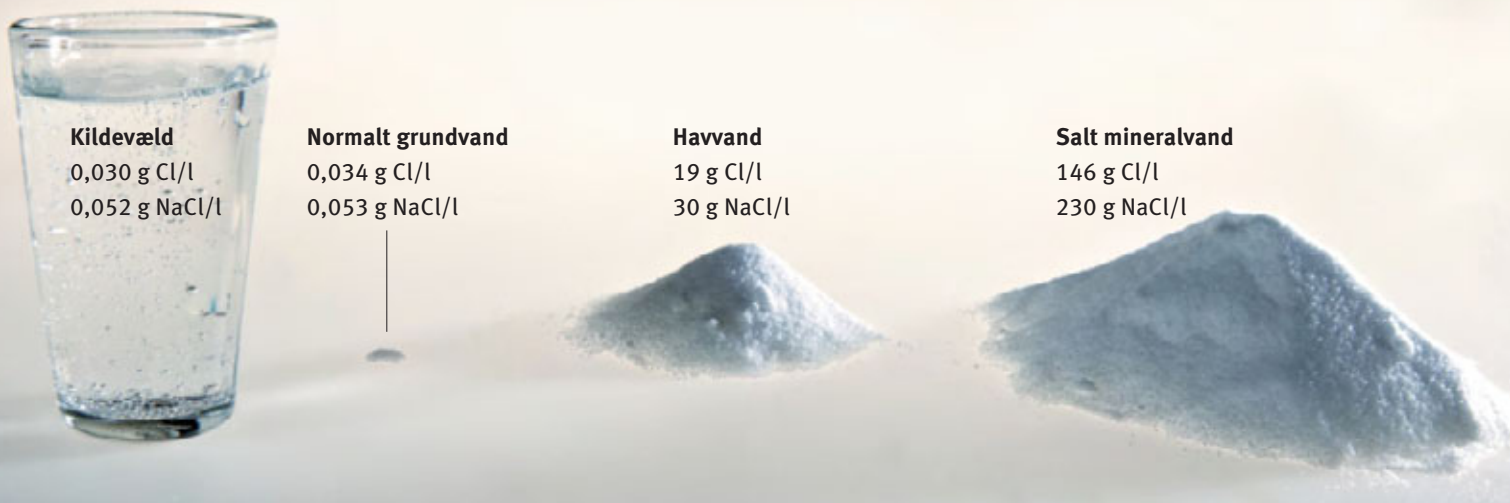
Ofte er det ferske og det salte grundvand ikke adskilt af en skarp grænse. Der er snarere tale om en kloridkoncentration, der er gradvist stigende med dybden. Gradienten af koncentrationen er betinget af:

- fortynding med nedtrængende ferskvand ovenfra,
- lavpermeable ler- og mergellag, som begrænser grundvandets strømning,
- en meget langsom, passiv diffusion af opløste salte fra den dybe undergrund.



Dybde til kloridkoncentrationer, som ligger inden for det tilladelige i drikkevand (<250 mg klorid/liter) i 21.653 borer i hele Danmark. Det afspejler den maksimale dybde, hvortil det ferske grundvand findes (se også figuren på side 11). Generelt ses det, at ferskvandet ligger dybest nede i Midt- og Vestjylland og centralt på øerne, mens der langs kysterne findes grundvand med mere end 250 mg/liter tættere under overfladen. En lang række undtagelser fra dette generelle billede ses bl.a. i gamle fjorde, inddæmmede områder, omkring salthorste, m.v. Data er udtrukket fra Jupiterdatabasen.

Kilde: Birgitte Hansen, GEUS.



Mængden af salt som kloridkoncentrationer (Cl/l) i hhv. normalt grundvand, havvand og salt mineralvand svarende til når man afvejer en bunke af natriumklorid (NaCl/l). Til sammenligning er vist værdierne i almindeligt dansk kildevæld (fx Kildevæld fra Carlsberg).

Foto: Peter Warno-Moors, GEUS.

Grænsen kaldes diffusionslaget, og det har meget varierende tykkelse, fra få meter til måske 100 m nogle steder, se figuren side 12 øverst.

På land er grundvand naturligt lagdelt med fersk vand ovenpå salt grundvand. Men ude i havet kan der faktisk være steder med ferskvand under saltvand. Dette kendes fra flere steder omkring Nordsøen, hvor fersk grundvand findes langt ude i havet. Årsagen hertil er, at Nordsøen først blev dækket af hav for 6–7.000 år siden, og at uigennemtrængelige lag over dybere grundvandsmagasiner nu hindrer det tungere salte grundvand i at sive ned.

Fra USAs Atlanterhavskyst kendes endog eksempler på, at fersk grundvand strømmer **meget** kraftigt op igennem havbunden mange kilometer fra kysten. Her skyldes det huller i et lerlag som ellers dækker et større kalkstensmagasin, der er i hydraulisk kontakt med grundvandsområder og søer inde på land hvorved vandspejlet i magasinet står højere end i havet.

## DEN DYNAMISKE GRÆNSE MELLEM FERSK- OG SALT VAND

Dybden til saltvandsgrænsen er ofte styret af de geologiske forhold (uigennemtrængelige lag o.l.) og ikke af det eksisterende ferskvandstryk. Vandværksfolk siger gerne, at salt vand 'pludselig' kan trænge ind i en boring. Denne hverdagsiagttagelse skyldes flere forhold. Bevægelser i en grænseflade mellem væsker med forskellig vægtfylde (her salt- og ferskvand) har tendens til at lave bølger, og selv små sænkninger i trykket et sted kan give anledning til 'skvulp' fra siden og dermed øget

vandret forskydning. Yderligere skal der kun opblandes <1 % havvand i fersk grundvand før grænseværdien for drikkevand (250 mg klorid pr. liter) er overskredet. Så selv små påvirkninger af grænsefladen kan være kritiske.

De praktiske erfaringer viser dog, at en passende vertikal afstand til en saltvandgrænse, langsom opstart af pumpen samt begrænsede sænkninger af (ferskvands-) grundvandspejlet kan løse problemet med at indvinde tæt ved grænsen mellem fersk- og saltvand.

I Danmarks strømmer det ferske grundvand hele tiden ud til havet pga. vores overskud af nedbør. Dette bevirker, at der ved kysterne strømmer store mængder fersk grundvand ud lige under havniveau. Og det medfører at havvand under ferskvandet 'trækkes' med af strømmen og derved skaber større opblanding i zonen. Dette fænomen kendes også fra åer bl.a. på Fyn, hvor salt grundvand fra dybere lag 'trækkes' med op tæt til overfladen fordi der strømmer store mængder fersk grundvand op til åen. Grænsen mellem salt- og ferskvand 'buler' herved opad.

## SALT GRUNDVAND I FREMTIDEN

Kan salt grundvand bruges i fremtiden? Det korte svar er JA! Først og fremmest bruges det, selvfølgelig i lille skala, på Læsø, pga. det høje saltindhold her. Men den vigtigste fremtidige anvendelse af salt grundvand skyldes ikke saltet, men at det findes dybt i undergrunden. Her er der nemlig varmt, og dermed mulighed for at vi kan udnytte vandets geotermiske energi. Men at vandet er salt er faktisk en stor teknisk udfordring, da vand med op til 10 vægtprocent

salt er meget aggressivt over for tekniske installationer af metal, og let udfælder mineraler, når det pumpes op til overfladen pga. lave tryk og temperatur heroppe.

Salt grundvand er, og vil også i fremtiden være, en vigtig begrænsning for udnyttelsen af drikkevandsressourcerne i Danmark. For eksempel er kloridkoncentration stigende i dele af Østsjælland. Det er en kombination af, at marint residualvand trænger op nedefra på kildepladser, hvor der pumpes for hårdt, samt at forurening og vejsaltning ovenfra giver stigende kloridindhold. Vejsalt kan også meget lokalt være et problem i Jylland og på Fyn. Dog er der ingenting som tyder på, at salt grundvand fra disse forskellige kilder i fremtiden bliver en større begrænsning for drikkevandsforsyningen, end det er i dag.

Indtrængning af saltvand ved verdens kyster forventes imidlertid at blive et større problem i fremtiden. Dette skyldes en kombination af stigende havniveau og overudnyttelse af ferskvandsressourcen. I Danmark er der i dag allerede problemer med, at vand fra Øresund strømmer op i Østsjællandske åer, når vandet i Øresund står højt. Her er det et naturligt fænomen, men i andre lande har overudnyttelse af vandet i floder medført, at havvand strømmer langs bunden mange kilometer op ad floden, og derved ødelægges værdifulde marker og grundvandsmagasiner. Dette kendes bl.a. fra Nilen.

# NORDENS FØRSTE STORINDUSTRI

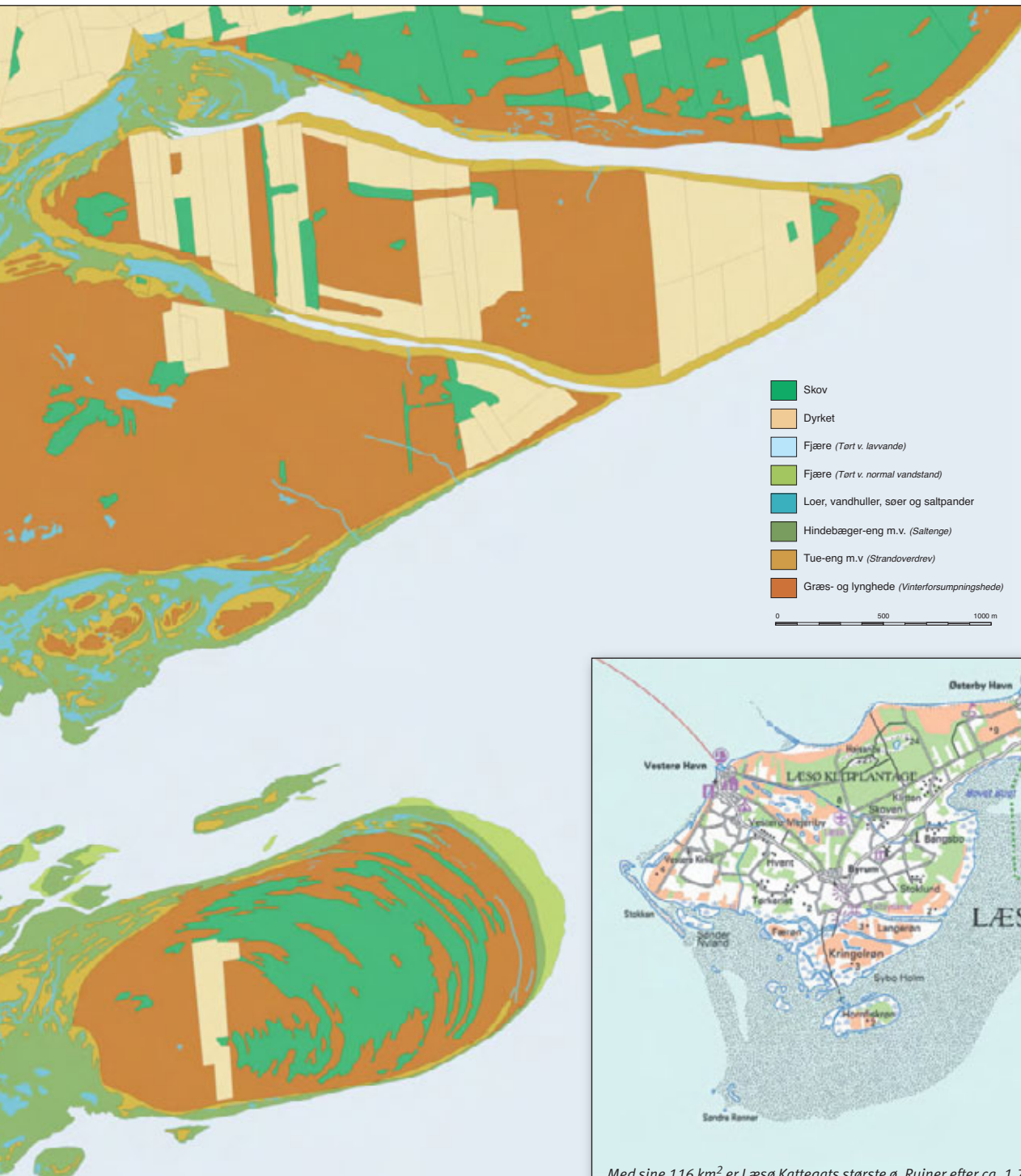
**E**n gang var skibsfarten på Kattegat hovedforbindelse mellem stormagten Danmarks provinser: Jylland, Øerne, Skåne, Halland, Bohus og Norge. Kun Blekinge og de tysktalende hertugdømmer lå lidt udenfor. Sådan var situationen i det meste af 500 år, indtil Christian IV og Frederik III satte landets status som stormagt over styr i 1600-tallet. I midten af dette trafikale knudepunkt opstod Nordens første storindustri – Saltproduktionen på Læsø. Ikke mindre end 1.700 ruiner af små fabrikker fra 1150–1652 vidner om denne industri, der i sin glansperiode forsynede riget med mere end 1000 tons om året af en af datidens vigtigste handelsvarer, salt af høj kvalitet til konservering af kød og fisk. Men hvorfor netop på Læsø?

Fra skrevne historiske kilder ved vi, at munke fra Vitskøl Kloster i Himmerland engang i 1100-tallet opdagede, at der på Læsøs sydlige side kunne graves brønde ned til meget stærkt saltvand; så stærkt at hønseæg kunne flyde på det. Det gør hønseæg, når vandet har en saltkoncentration på mindst 12 %, dvs. 5–6 gange så salt som vandet i Kattegat. Det var en meget vigtig opdagelse, fordi salt var en kostbar handelsvare. Udover lufttørring var saltning den eneste mulighed for at konservere kød og fisk til senere brug. Fryserne og konserver var ikke opfundet. Opdagelsen bevirkede, at Viborg Domkapitel fra Valdemar den Store skaffede sig ejendomsretten til den stort set ubeboede ø og straks indledte en ny politik for at få øen – Kattegats største ø – befolket. Trækplasteret var, at folk kunne slå sig ned på 'Vor Frue land' (Læsø) som frie mænd for at tage land og dyrke jorden ('landnam'). Til gengæld skulle hver nybygger (boelsmand) oprette en 'saltkedel' og betale for jorden og brugsretten med en vis mængde salt hvert år. Betaling med penge blev ikke accepteret.



*Rønnerne på Læsø er et af Danmarks største strandengsområder. Vegetation og stedfast dyreliv styres i meget høj grad af grundvandets saltholdighed og oversvømmelseshyppighed. Umiddelbart over havniveau (0–5 cm) findes kveller og lidt højere (op til 10 cm) store engflader, der er helt domineret af den smukke hindebæger. Derover (10–40 cm) store engflader med en blanding af annelsgræs og mange arter af salttålede blomsterplanter. Fra 40–100 cm over havet findes et karakteristisk landskab, der er helt domineret af den gule engmyres tuer. De salttålede planter i her er karakteriseret af bl.a. engelskgræs og strandmalurt. Højt (over 100 cm) ligger græs- og lyngheder, der normalt ikke oversvømmes ved højvande. På grund af arealernes fladhed, store udstrækning og vinternedbør udgør disse 'vinterforsumpningsheder' et landskab, der ville springe i skov, hvis ikke landskabet plejes med afgræsning og fjernelse af selvsået birk og fyr. På Hornfiskrøn har skovopvæksten skabt en enestående birkeskov, der nøje følger terrænets små højdeforskelle skabt af lave, gamle strandvolde.*

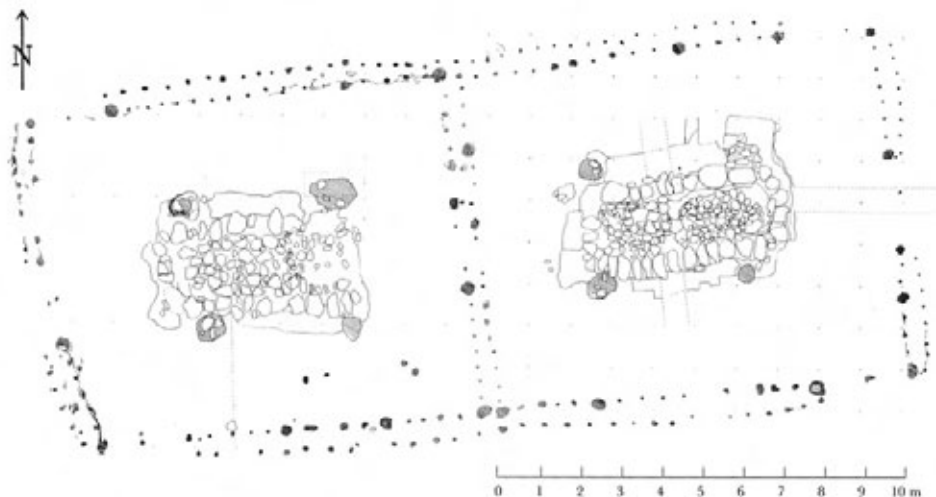
Kilde: J.M.Hansen, Geologisk Tidsskrift 1995.



**JENS MORTEN HANSEN**

Statsgeolog, GEUS.

jmh@geus.dk



En udgravet 'dobbeltthytte', der nu er rekonstrueret på Læsø Saltsyderi. De to sydehytter består inderst af et ildsted opbygget af kampesten og græstørv. Taget og de to sydepander har hver været holdt oppe af 4 stolper af svært tømmer. Ydervæggene bestod af to lag flettede grene mellem lodrette rafter. Man har fyldt væggene med ålegræs op til ca. 1–1½ m højde, for at beskytte ildstedet ved højvande og mod blæsevejr.

Kilde: Hans Langballe, J. Vellev, Hikuin 1993.

## BOSÆTTELSE OG SALTPRODUKTION

At dette var et godt trækluster fremgår bl.a. af, at befolkningstallet allerede i 1200-tallets begyndelse var steget så meget, at der omkring 1250 var blevet bygget ikke mindre end tre kirker for at rumme befolkningen. Derudover ved vi fra domkapitlets regnskaber, at saltindustrien var en indbringende forretning, der blev overvåget af udsendte kanniker, såkaldte *procuratores laesoviae*. I løbet af de kommende 400 år voksede produktionen så meget, at der nu kan tælles i alt ca. 1.700 ruiner efter de småfabrikker eller sydehytter ('kedler'), hvori saltproduktionen fandt sted. Men hvor mange af disse 1.700 sydehytter, der var i funktion ad gangen, har man ikke vidst før nu. Man kan tydeligt se ruinerne efter de enkelte sydehytter, fordi de typisk udgør en 20–30 cm forhøjning med en diameter på 10–20 m. Midt i ruinerne er der ofte en lille stensætning, der engang var ildsted under sydepanden. Derudover kan man se, at langt de fleste ruiner ligger på rad og række tæt ved eller ovenpå en gammel strandlinje.

Jeg satte mig derfor for at finde ud af om strandlinjerne kunne bruges til at opdele de 1.700 ruiner i perioder, svarende til hver af de gamle strandlinjer, sådan at antallet af ruiner på hver strandlinje svarer til, hvor mange af dem, der har været i gang på samme tid. Problemet var derfor at fastslå, hvilken forbindelse der er mellem denne oprindelige beliggenhed

af de enkelte sydehytter og råstoffet til saltproduktionen – det stærkt salte grundvand (se boksen side 19).

## JÆVNIGE FLYTNINGER AF PRODUKTIONSANLÆGGENE

Læsøs undergrund bevæger sig opad relativt hurtigt. Derfor er dannelsen af det stærkt salte grundvand på strandene omkring det sydlige Læsø konstant flyttet udad i takt med landhævningen. Fra arkæologiske udgravninger ved vi, at saltbrøndene har ligget inden i sydehytterne eller umiddelbart udenfor. Det har åbenbart været mere besværligt at transportere saltvandet end brændet til inddampningen. Hver gang der er dannet en ny lav strandvold lidt længere ude, har saltsyderne derfor været nødt til at flytte anlæggene og brøndene de 100–200 m til det sted, hvor det stærkeste saltvand nu fandtes, og hvor det derfor krævede mindst brænde at få det inddampet fra flydende form til tørt, krystallinsk salt.

Ud fra de gamle strandlinjers antal og aldersforhold kan man se, at disse flytninger

skete med gennemsnitligt knap 20 års mellemrum. Det svarer omtrent til varigheden af en nodal-periode, dvs. de 18,6 år, det tager Månen under dens spiraløb omkring Jorden at komme én gang fra den nordlige vendekreds til den sydlige og tilbage igen til den nordlige. I den ene halvdel af en nodal-periode står Månen højst over den nordlige Halvkugle, mens Månen i den anden halvdel af en nodal-periode står højst over den sydlige Halvkugle. På grund af Månens tiltrækningskraft giver det nogle naturlige vandstandsvariationer, der gentager sig hvert 18,6. år. Fra vandstandmålingerne i Læsøs omegn ved vi, at den gennemsnitlige årlige vandstand fra en nodal-periodes maximum til minimum forskydes 31 mm, eller ca. 3 cm. Det lyder ikke af meget, men ude på den næsten fuldstændig vandrette sandflade, hvor højdeforskelle på mere end 5 cm ikke forekommer nær kystlinjen, er det meget. Her er højdevariationer i den størrelsesorden helt afgørende for, hvor både det hypersaline grundvand er stærkest, og hvor nye strandlinjer dannes. Derfor har samspillet

'Saltpande' ved Hornfiskrøn, hvor der dannes salt grundvand med en salinitet på op til 16 % under en vegetation af kveller og hindebæger. Når saltpanden oversvømmes ved højvande nogle gange i sommerens løb står der en pyt af havvand tilbage. Efterhånden som sol, vind og salttålede planter udtørre havvandet i saltpanden, stiger saltkoncentrationen i resten af vandet. De røde planter, kvellerne, tåler den højeste saltkoncentration og er pionerplante i dette miljø.

Foto: Lasse Gudmundsson, GEUS.  
Indsat foto: Merete Binderup, GEUS.

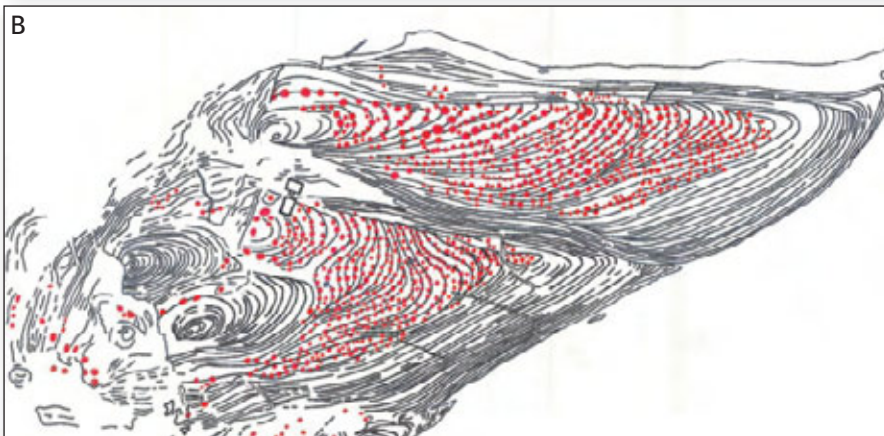






Strandvold på Hornfiskrøn. Bemærk hvordan vegetationen ændrer karakter ved blot små niveauforskelle.

Foto: Metere Binderup, GEUS.



A: Højdekort over de tidligere øer Langerøn og Kringelrøn, der nu er sammenvokset med selve Læsø. På disse to øer findes i alt ca. 900 ruiner, der fremstår som små 'knopper'. Disse knopper ses nu i terrænet som 20–30 cm høje og 10–20 m brede forhøjninger, ofte med enstensætning i midten (ildstedet) og en lav jordvold udenom. Inden for jordvolden ses også selve saltbrønden som en lille fordybning. Nu ligger ruinerne inde i land på grund af landhævningen.

Kilde: J.M. Hansen, *Geografisk Tidsskrift* 2010.

B: Kortet viser forløbet og kronologien af de gamle strandlinjer (sorte linjer). Ved at tælle hvor mange ruiner (røde prikker), der er på hver enkelt af disse strandlinjer, kan man finde ud af, hvor mange saltfabrikkerne, der har været i funktion ad gangen, fordi de netop lå på selve strandbredden, da de var i funktion. En sådan optælling viser, at der til at begynde med (ca. år 1150) var ca. 25 samtidigt aktive småfabrikker og at der var ca. 135, da produktionen kulminerede (ca. år 1585). Så saltproduktionen anslås til omkring 400 tons (i 1200-tallet) stigende til 2.000 tons (i 1500-tallet) om året.

Kilde: J.M. Hansen, *Geografisk Tidsskrift* 2010.

mellem en landhævning på ca. 2,3 mm/år og nodal-svingningerne bevirket, at vandstanden har forskudt sig i ryk bestående af 9,3 års perioder med en vandstandstigning på ca. 9 mm og derpå 9,3 år med et vandstandsfall på ca.

52 mm – eller nok til at strandlinjen i form af en ny lav strandvold er sprunget hvert 18.–19. år til en ny position lidt længere ude på sandfladen.

## HVOR MANGE PRODUKTIONSANLÆG VAR AKTIVE AD GANGEN?

Dette flytteri af sydehytter med knap 20 års mellemrum har skabt langt flere ruiner af sydehytter, end der har været gang i på én gang. Ved nu som nævnt ovenfor at tælle hvor mange ruiner af sydehytter, der ligger på hver enkelt af alle disse gamle strandlinjer, kan man få et detaljeret billede af, hvor mange syderier der har været aktive samtidig. Her viser det sig så, at der på strandlinjen fra ca. år 1200 har været omkring 25 syderier i gang på én gang. Antallet af samtidigt aktive syderier stiger derpå konstant gennem de følgende 400 år, indtil antallet kulminerer i slutningen af 1500-tallet (1585) med mindst 135 samtidigt aktive syderier. Kun fra midten af 1300-tallet til begyndelsen af 1400-tallet ser der ud til at have været en vis stagnation. Det hænger sandsynligvis sammen med, at pesten (Den Sorte Død) kom til Europa fra Asien i 1347, hvorefter en stor procentdel af Europas befolkning omkom, nogle steder mere end halvdelen af befolkningen, så der i de følgende to generationer var en udpræget mangel på arbejdskraft inden for alle erhverv.

Forskellige forsøg i Læsø Saltsyderis rekonstruktioner af middelalderens sydehytter viser, at en enkelt sydepende har kunnet



Læsø Saltsyderi har tre saltbrønde til ca. 1½ m dybde. Herfra hentes saltvand med en koncentration på 10–12 %, hvoraf der hvert år fremstilles ca. 100 tons salt af høj kvalitet til glæde for gourmeter og andre overalt i verden, men også til glæde for de ca. 50.000 personer, som hvert år besøger saltsyderiet. Til venstre ses sydemester Poul Christensen.

Foto: Metere Binderup, GEUS.

producere ca. 30 tons salt om året, hvis den syder året rundt. Hvis vi forudsætter, at selve saltsydningen har været en forårs- og sommer- og sensommerbeskæftigelse, hvor 'fjæren' (sandfladen) erfaringsmæssigt er tørrest, skal tallet reduceres til omkring det halve. Fra skriftlige kilder vides desuden, at selve sydningen stod på i døgndrift fra april til sidst i september. Med 135 samtidigt aktive syderier giver det en årlig produktion på ca. 2.000 tons, da produktionen var på sit højeste og knap 400 tons, da det begyndte omkring år 1200. At saltproduktionen således var ganske betydelig antydes også af, at stridigheder om ejendomsretten til Læsø blev behandlet på pave-koncilier i både Rom og Avignon.

## SALTPRODUKTIONENS OPHØR, KLIMAETS FORVÆRRING, SANDFLUGT OG ANDEN ELENDRIGHED

Men i 1652 sluttede 'festen'. Efterhånden var der ikke meget skov tilbage at skaffe brænde fra, og efter 1585 begynder klimaet at blive meget koldere. Af bønsskrivelser fra saltsyderne til domkapitlet, kan man se, at man fra begyndelsen af 1600-tallet og frem trygler om at måtte betale skat med penge i stedet for med salt. Ud over brændemangel, bliver kvaliteten af råstoffet – det hypersaline grundvand – stadig ringere på grund af det koldere klima. Ud fra beliggenheden af sydehytterne på strandlinjerne kan man se, at de produktive strækninger skrumper, således at længden af dem i

1620 er skrumpet til 15% af den 7 km lange udstrækning, de udnyttede dele af forekomsterne havde i 1585. I 1652 får saltsyderne omsider tilladelse til at betale skat med penge, og saltproduktionen ophører derefter om trent med det samme. I Læsøs strandenglandskaber ses denne begivenhed tydeligt som en grænse mellem strandlinjer, der er stærkt præget af saltsydningens ruiner og yngre strandlinjer, hvor kun naturen har rådet.

Læsø undergår samtidig en radikal naturforandring. Saltskatten og brændemanglen havde gennem lang tid tvunget bønderne til delvist at fyre med lyng- og græstørv. Men på den stadig mere skovløse ø indebar det, at den bare mineraljord blev blotlagt for vinden og det efterhånden noget barskere klima. Resultatet blev en omfattende sandflugt, der i 1700-tallet ødelagde landsbyen Hals, dens kirke og dens marker.

Samtidig med saltproduktionens nedtur skrumpede Det Danske Rige efter de tabte svenskekrige under Christian IV og Frederik III. Det gik også ud over den omfattende skudehandel, der hidtil havde udgået fra Læsøs to naturlige havne, Bovet og Alsdyb. I 1659 hjemmehørte der ca. 300 skibe i disse to naturhavne ved Læsø, i antal Danmarks næststørste handelsflåde kun overgået af København. Men nu reducerede tabet af provinserne Bohus (1643), Halland og Skåne (1659) Læsøflådens marked til nær det halve (Norge, Øerne og Jylland).

Konsekvensen af krigene var bl.a., at Læsø fra at have ligget midt på rigets vigtigste handelsruter nu pludselig befandt sig i udkanten af det lemlæstede kongedømme. Samtidig udviklede den hidtil skovrige og frodige ø sig – med Achton Friis' ord – til en "stormomsust ødemark", og øens almindelige befolkning, der hidtil havde hørt til landets mest velbærgede almue, sank ned i armod, glemsel og flyvesand, helt på linje med almuen i de vest- og nordjyske områder, der altid havde været udkantsområder.

## SALTVANDET FORSVINDER HELT, MEN KOMMER IGEN OMKRING 1800

Fra bl.a. en dom i Højesteret kender vi til flere miserable forsøg på at genoptage en saltproduktion i årene 1680–1720. Men de hypersaline forekomster var helt forsvundet i denne periode. Tre stort anlagte saltværker gik fallit og en af de gældstyngede ejere flygtede til udlandet. Men omkring 1800 ved vi, at Læsøboerne opdagede at det stærke saltvand var kommet igen visse steder, som de kaldte 'Saltboden' (saltbunde). Dette skete under Napoleonskrigene, hvor København atter overfalder og bombarderes (1807), nu ikke af Sverige, men af England. Danmarks ulyksalige forbund med Napoleon indebar, at englænderne – udover at bombardere København og stjæle krigsflåden – indførte en 'fastlandsspærring', der bl.a. forhindrede Danmark i at importere kul og salt, nogle af datidens vigtigste råstoffer.

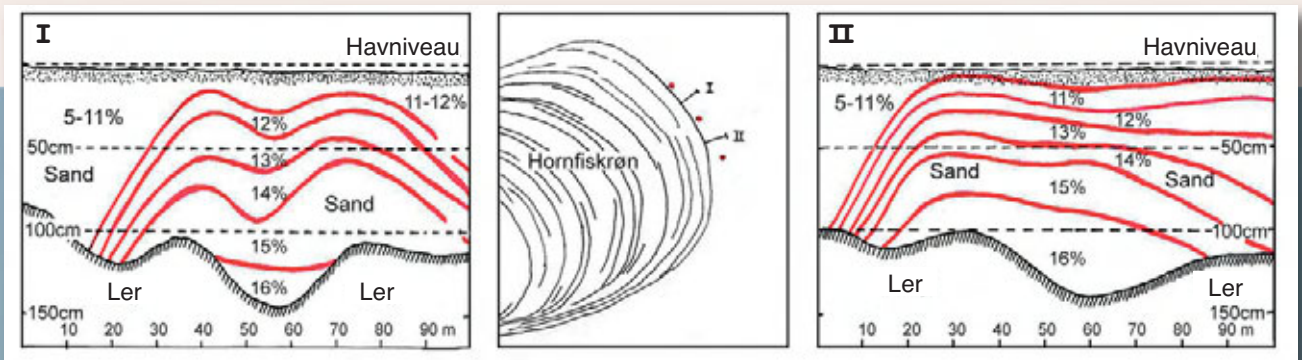
Frederik VI sendte derfor i 1808 universitetets dengang kun to geologikyndige professorer ud for at finde disse råstoffer indenfor rigets grænser. H.C. Ørsted blev sendt til Bornholm for at finde kul, hvor det lykkedes ham at finde kulforekomsterne ved Hasle og Bagå – og i øvrigt fremstillede danmarkshistoriens første geologiske kort. Og professoren i landøkonomi, Gregers Begtrup, sendtes til Læsø sammen med en tysk bjergværksingeniør Münster. Her finder de, at "saltlagen er kommen igen i et areal på mange hundrede tønder land" mellem Kringelrøn og Hornfiskrøn og øst for Hornfiskrøn. Men Læsø var nu blevet aldeles skovløs, og en egentlig industriel produktion var ikke mulig, før Læsø Saltsyderi i 1996 genoptog produktionen på den nu igen skovrige ø. 🌍

## HVOR OG HVORDAN DANNES RÅSTOFFET TIL SALTPRODUKTIONEN?

Ved hjælp af et stort antal 'letvægtsboringer', som vi opfandt til formålet, lykkedes det at vise, at det stærke saltvand ikke dannes i nutiden, hvor ruinerne ligger, fordi disse områder nu er hævet så meget af landhævningen, at havvandet ikke mere skyller ind over områderne. Derimod dannes der stærkt saltberiget (hypersalint) grundvand ude på den ca. 90 km<sup>2</sup> stor sandflade, der omkranser Læsøs sydøstlige og sydlige side, og som tørlægges i længere perioder hvert forår og sommer. Ude på denne mægtige og næsten fuldkommen vandrette sandflade inddamper det havvand, der ligger tilbage i porerummene mellem sandkornene, så der ved tørlægning kan dannes en tør, knasende skorpe af saltsammenkittet sand. Når så havet igen kryber ind over den store sandflade – typisk som en i begyndelsen millimeter-tynd film af havvand – opløses saltet igen i den tynde film af havvand og danner en næsten saltmættet opløsning. Da denne opløsning er væsentligt tungere end havvand, synker den med det samme ned i sandet, indtil det hypersaline vand rammer det meget tykke lerlag,

som overalt findes under Læsø. Her akkumuleres den næsten saltmættede lage i sommerens løb – og år for år – typisk i 1–2 m dybde. De stærkeste koncentrationer findes, hvor sandfladen er tør i længst tid, dvs. umiddelbart uden for strandengenes sammenhængende græsvegetation.

At salt-dannelsen også er foregået på denne måde i saltindustriens tid kan man selvfølgelig ikke vide med sikkerhed, men alt tyder på det. I hvert fald ved vi nu, at det hypersaline grundvand hovedsagelig findes i kilometerlange og 100–200 m brede bæltter parallelt med strandengenes almindelige højvandslinje. Samtidig viser både arkæologiske udgravninger af sydehytter og skriftlige kilder, at saltbrøndene var placeret inde i hver enkelt sydehytte eller umiddelbart udenfor. Deraf kan man udlede, at hytterne har ligget på selve strandbredden eller en anelse længere inde på den kun ca. 30 cm høje strandvold, som til enhver tid udgør grænsen mellem de græsklædte strandenge og den store sandflade, hvor det hypersaline grundvand dannes.



Lodrette profiler gennem sandfladen øst for Hornfiskrøn (se tegningen i midten for placering). De røde linjer viser koncentrationen af det 'hypersaline' og derfor tunge grundvand, der op-hobes i sandet ovenpå det uigennemtrængelige ler. Sådanne forekomster af saltberiget grundvand med en koncentration på 5–8 gange Kattegats saltkoncentration udgjorde grundlaget for saltindustrien på Læsø.

Kilde: J.M. Hansen, *Geografisk Tidsskrift* 2010.

Vandet kommer krybende.

Foto: Lasse Gudmundsson, GEUS.



Forfatteren i gang med en prøvepumpning af det stærkt saltberigede (hypersaline) grundvand, der findes 1–2 m under sandfladen øst for Hornfiskrøn.

Foto: Lasse Gudmundsson, GEUS.



Saltet står til eftertørring i sydehytten.

Foto: Merete Binderup, GEUS.

# GEOCENTER DANMARK

## GEOCENTER DANMARK

Er et formaliseret samarbejde mellem de fire selvstændige institutioner De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (GEUS), Institut for Geoscience ved Aarhus Universitet samt Institut for Geografi og Geologi og Geologisk Museum begge ved Københavns Universitet. Geocenter Danmark er et center for geovidenskabelig forskning, uddannelse, rådgivning, innovation og formidling på højt internationalt niveau.

## UDGIVER

Geocenter Danmark.

## REDAKTION

Geoviden – Geologi og Geografi redigeres af Seniorforsker Merete Binderup (ansvarshavende) fra GEUS i samarbejde med en redaktionsgruppe.

Geoviden – Geologi og Geografi udkommer fire gange om året og abonnement er gratis. Det kan bestilles ved henvendelse til Finn Preben Johansen, tlf.: 38 14 29 31, e-mail: fpj@geus.dk og på [www.geocenter.dk](http://www.geocenter.dk), hvor man også kan læse den elektroniske udgave af bladet.

ISSN 1604-6935 (papir)

ISSN 1604-8172 (elektronisk)



Produktion: Annabeth Andersen & Carsten Egestal Thuesen, GEUS.

Tryk: Rosendahls - Schultz Grafisk A/S.

Forsidebillede: Salt-‘gletsjer’ i Nordspanien.

Foto: Merete Binderup, GEUS.

Reprografisk arbejde: Benny Scharck, GEUS.

Illustrationer: Forfattere og Grafisk, GEUS.

Eftertryk er tilladt med kildeangivelse.

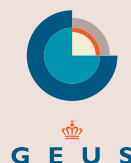
## DE NATIONALE GEOLOGISKE UNDERSØGELSER FOR DANMARK OG GRØNLAND (GEUS)

Øster Voldgade 10

1350 København K

Tlf: 38 14 20 00

E-mail: [geus@geus.dk](mailto:geus@geus.dk)



## INSTITUT FOR GEOGRAFI OG GEOLOGI

Øster Voldgade 10

1350 København K

Tlf: 35 32 25 00

E-mail: [geo@geo.ku.dk](mailto:geo@geo.ku.dk)

## GEOLOGISK MUSEUM

Øster Voldgade 5-7

1350 København K

Tlf: 35 32 23 45

E-mail: [rcp@snm.ku.dk](mailto:rcp@snm.ku.dk)



## INSTITUT FOR GEOSCIENCE

Aarhus Universitet

Høgh-Guldbergs Gade 2, B.1670

8000 Århus C

Tlf: 89 42 94 00

E-mail: [geologi@au.dk](mailto:geologi@au.dk)



DANMARK

PP

Magasinpost UMM  
ID-nr. 46439

PortoService, Postboks 9490, 9490 Pandrup