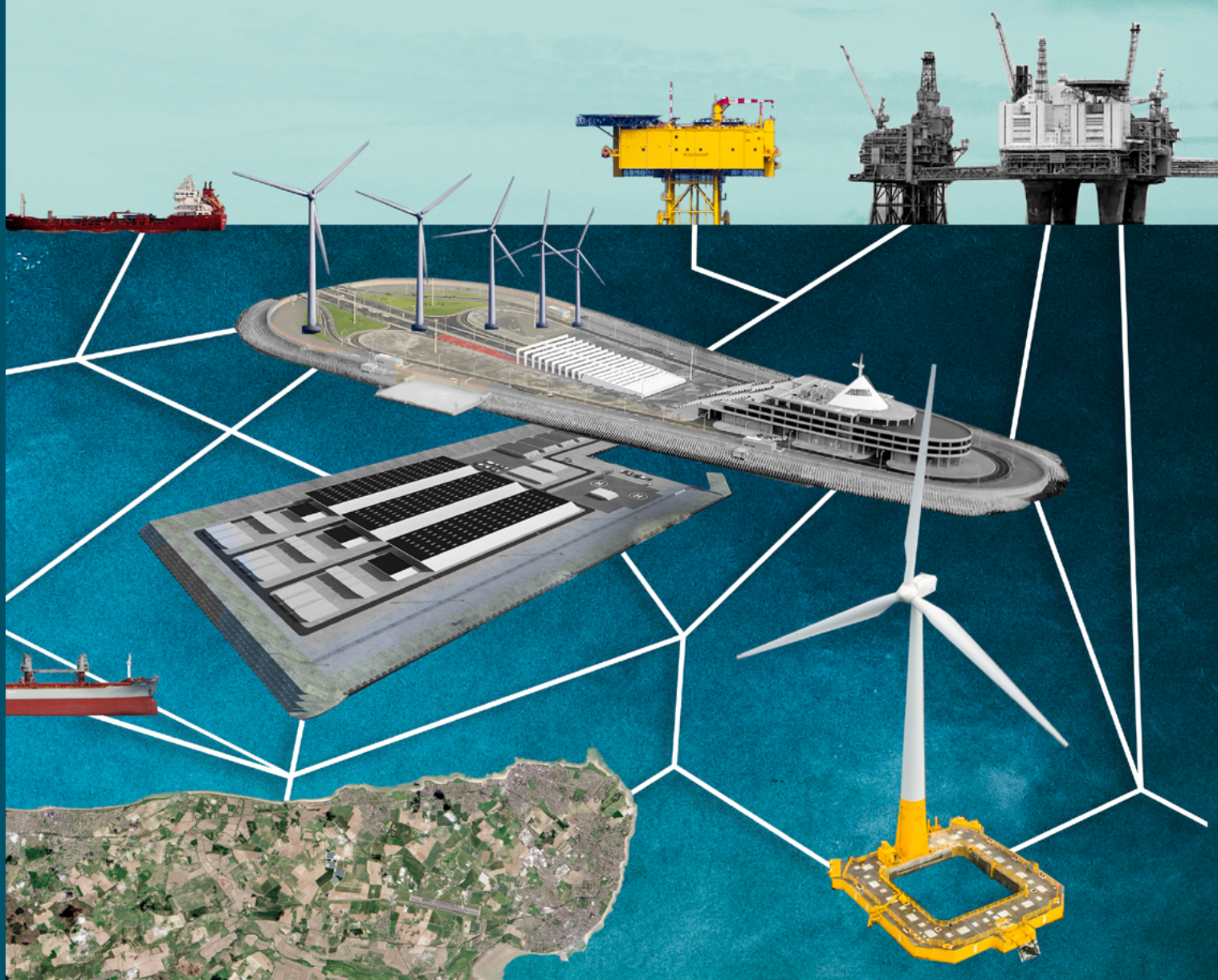


NR. ■  
02  
OKT.  
2022

# geo viden

## Farvel til Olie Danmark



SÅDAN TACKLER VI  
ÅRHUNDREDETS  
OPRYDNINGSTJANS



ENERGIEN FRA  
NORDSØEN SKIFTER  
FARVE TIL GRØN



# FARVEL OLIEDANMARK

Og goddag til opgaven med at finde ud af, hvor vi i stedet får energien fra. Måske stadig fra Nordsøen?

“Vi sætter nu et endeligt punktum for den fossile æra og tegner en lige linje mellem vores aktiviteter i Nordsøen og Klimalovens mål om klimaneutralitet i 2050.”

Sådan sagde klimaminister Dan Jørgensen i december 2020 i forbindelse med offentliggørelsen af den endelige beslutning om at sætte en slutdato for det danske olie- og gaseventyr. Fra 1. januar 2051 skal der ikke længere produceres olie eller gas i Danmark, det vil sige den danske del af Nordsøen. Derudover skal alt inventaret til produktionen ifølge den nuværende aftale være ryddet op og fjernet, altså boreplatforme (rigs), rørledninger osv. I 2022 er det præcis 50 år siden, at der blev åbnet for hanen til den første danske olie fra Nordsøen. Det var kulminationen på årtiers lettere frustreret oliefeber, der startede med en lang række boreriger på land, som var nitte på nitte. Først da jagten gik til havs, var der gevinst, men da havde man nået at bore sammenlagt mange kilometer ned i undergrunden rundt omkring i Danmark. Hvilket er vores alle sammens held i dag, for det har givet de danske geologer en viden om vores undergrund, som vi ellers aldrig ville have haft. Det gælder om at passe godt på den viden, og derfor har vi Undergrundsarkivet hos De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (GEUS) med kerner, borespåner, målinger og data fra alle boreriger. Olieeftersforskningens oprindelige borebisser kunne formentlig ikke have forudset, at forskere i dag ville bruge deres boremateriale til f.eks. at regne ud, hvor i undergrunden vi kan lagre den CO<sub>2</sub>, som afbrændingen af olie og gas skaber. Den olie og gas, som var en kæmpe sensation og succeshistorie, da den endelig blev fundet, og som i mange år har gjort Danmark næsten uafhængig

energimæssigt. Forbruget af fossile brændsler har rigtig nok givet os lidt af en klimahovedpine i dag, men jagten på dem har måske skaffet os en vigtig del af løsningen på problemet. Nemlig viden om den store verden under vores fødder, som bruges til at se, hvor der kan placeres vindmøller og geotermiske energianlæg, for bare at nævne få eksempler.

I skrivende stund er der energikrise rundt om i Europa på grund af bl.a. Ukraine-konflikten; der skal spares på strøm, og der varsles potentielle restriktioner på gas. Det har ikke ændret ved beslutningen om at lukke for den danske olie- og gasproduktion i 2050, og Danmark forventes at være selvforsynende med gas fra de nuværende felter fra år 2024 og et årti frem.

Dette nummer af Geoviden er et nedlukningstema med både fortids- og fremtidsbriller på, så du kan læse om Danmarks snart hundredeårige olie- og gashistorie, hvad det egentlig kræver at lukke et olie-/gasfelt, og hvordan vi måske kan blive ved med at få energi fra Nordsøen, bare grøn i stedet for sort.

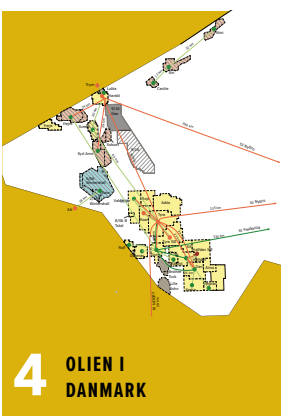
God læselyst.



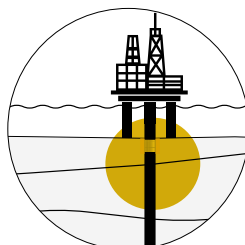
JOHANNE UHRENHOLT KUSNITZOFF

REDAKTØR OG SKRIBENT

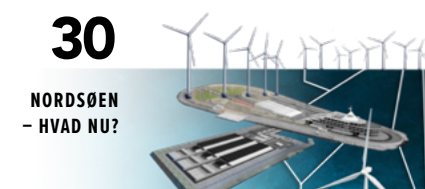
## INDHOLD



10 DET DANSKE OLIEEVENTYR



24 NORDSØTOGT HVORDAN SPOTTER MAN ET UTÆT OLIE- OG GASFELT?



30 NORDSØEN – HVAD NU?



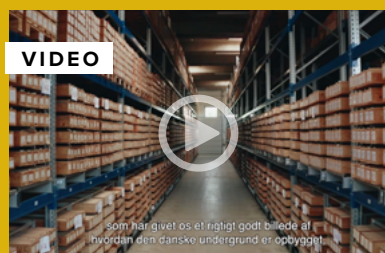
# FIND DET PÅ GEOVIDEN.DK/OLIEDANMARK

## SE BILLEDERNE ONLINE



### Tyra-plattformen fjernes

TotalEnergies er ved at genopbygge Danmarks største gasfelt, Tyra, men inden da skulle det gamle felt fjernes. En gigantisk operation, der giver gode erfaringer til den rigtige nedlukning ude i fremtiden. Læs artiklen på [geoviden.dk/oliedanmark](http://geoviden.dk/oliedanmark)



## VIDEO

som har givet os et rigtig godt billede af hvordan den danske undergrund er opbygget.

### EN UVURDERLIG OLIE-ARV I STEN

I vores temavideo besøger to forskere det store borekernelager i Taastrup og fortæller, hvordan tusindvis af kerner og prøver bruges til f.eks. at finde gode steder til CO<sub>2</sub>-lagring i undergrunden, nye geotermiske anlæg osv.

### Bonusinfo!

Undergrundsarkivet indeholder

**ca. 70.000**

kasser med boremateriale fra både den danske og grønlandske undergrund. Hylderne kan flyttes via motor, men vejer hver flere hundrede tons.



## PODCASTEN GEOLAND

### BØR PLATFORMENE BLIVE STÅENDE?

Egentlig er aftalen, at alt skal fjernes, når olie- og gasfelterne afvikles. Men muligvis er de faktisk til gavn for livet i havet, da fisk, hvaler, sæler osv. bruger dem som bl.a. hvileplads, gemmested og buffet. Værterne for vores podcast, Geoland, geologistuderende Emil Soltau og Mathilde Lieberkind, tager ud og taler med en af de biologer, der har undersøgt, om platformene faktisk er gavnlige for havlivet.



Fra Geoland-episoden:  
Ved en enkelt nordsø-  
platform er der set ca.

**10 HVALARTER**

# HVAD LÆRER DU I DETTE TEMA?

1

### DANMARK HAR EN VILD OLIEHISTORIE

Du tænker nok ikke over, hvor meget besvær og hårdt arbejde der faktisk er gået forud for indvindingen af den gas og olie, vi bl.a. bruger som energikilder i det daglige. Det kan du lære om i dette tema, herunder om det svindelnummer, der sikrede en snu amerikaner retten til dansk undergrund i mange år!

2

### HVORDAN MAN LUKKER ET FELT

Man drejer ikke bare på hanen, men skal tage højde for mange faktorer, og lukningen skal holde i 'et evigt perspektiv'.

3

### NORDSØEN GIVER FORNYET ENERGI

Der er stort potentiale for at høste grøn energi fra Nordsøen i stedet for sort, især via vindenergi og energigør.

## + MERE OLIE OG GAS



Vil du dykke mere ned i geologien bag olie- og gasforekomsterne i Danmark, så find vores 2013-tema om emnet (og mange andre) her:  
[geoviden.dk/arkiv](http://geoviden.dk/arkiv)



# OLIEN I DANMARK

Danmark er en oliestat, som i flere årtier har produceret så meget olie og gas fra vores del af Nordsøen, at vi kunne sælge ud af det. Men hvorfor har vi egentlig så mange olie- og gasfelter, og hvor meget har vi hevet op derfra? Få et lynoverblik her.

TEKST: JOHANNE KUSNITZOFF LAYOUT: LYKKE SANDAL

Kilder: Geologi Nyt fra GEUS 2 & 3 1996, Geoviden nr. 1 2013 og nr. 1 2019, 'Olie og gas i Danmark – Kort fortalt' (1995), DGU, Energistyrelsen (ens.dk) og ourworldindata.org/energy

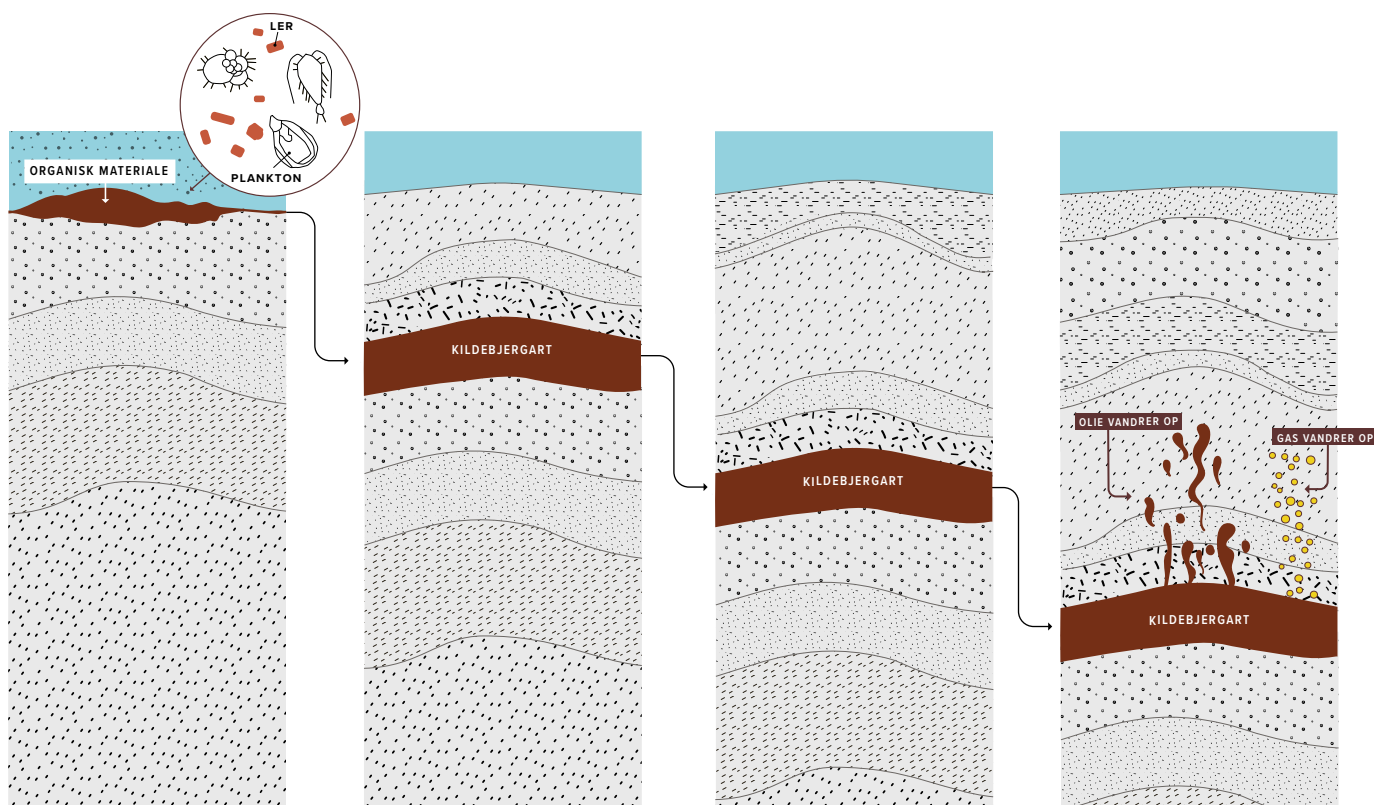
FIGUR 1

## HVOR FINDER MAN OIE OG GAS?

Det er et områdes geologiske historie, der bestemmer, om der opstår olie- og gasfelter. Faktisk skal en hel række forhold være indtruffet på den rigtige måde i den rigtige rækkefølge, før det lykkes. Se tommelfingerreglerne for dannelse af olie- og gasfelter her.

## HVAD ER OIE OG GAS?

Olie og gas kaldes også kulbrinter, fordi de primært er opbygget af kulstof (C) og brint (H<sub>2</sub>). De er bare forskellige udgaver af samme kemiske grundopskrift (C<sub>n</sub>H<sub>2n+2</sub>) sat sammen på en ny måde fra det nedbrudte organiske materiale. Der findes forskellige udgaver af gas og olie. Under 5 C-atomer giver generelt stoffet gasform, over 5 er en olie, og over 25 en slags voks. Naturgas (her i bladet bare 'gas') kaldes også metan med formelen CH<sub>4</sub>, altså ét C- og 4 H-atomer. Den såkaldte råolie, der hives op fra olieletter, er en blanding af forskellige molekyler, f.eks. oktan (C<sub>8</sub>H<sub>18</sub>) med 8 C-atomer og 18 H-atomer.



## 1 ORGANISK STOF

Først skal en vis mængde organisk materiale (døde planter og dyr, f.eks. plankton) ophobes i et iltfattigt miljø på en hav- eller søbund. Manglen på ilt forhindrer den naturlige nedbrydning.

## 2 NED I DYBET

Efterhånden som der falder nye lag af lerpartikler, sand og andet ned fra vandmasserne, begravnes laget med organisk materiale dybere og mases sammen til en bjergart. Fordi den er på vej til at blive en kilde til olie og gas, kaldes det en kildebjergart.

## 3 OPVARMNING

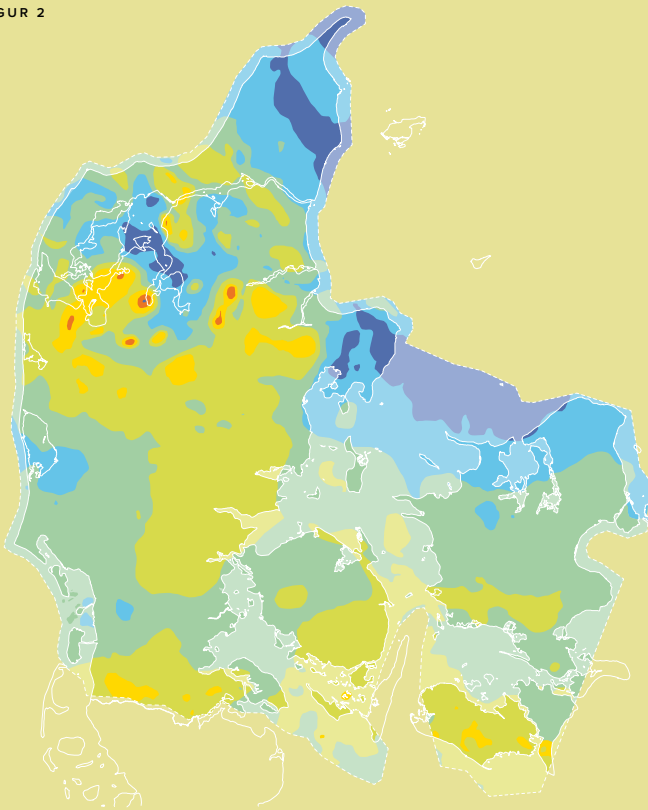
Laget skal bevæge sig så dybt ned i undergrunden, at Jordens varme begynder at 'tilberede' kildebjergartens organiske materiale. Det begynder ved ca. 60 grader, hvilket i Danmark ofte er ca. to kilometer nede. Det tager millioner af år for laget at komme derned.

## 4 I 'KØKKENET'

Som temperaturen stiger, begynder kildebjergartens organiske materiale at blive til først olie og siden til gas. Begge dele er lettere end grundvandet rundt om, så det stiger opad. Man siger, at kildebjergarten nu er nået ned i 'køkkenet'.

FIGUR 2

Kort: Sven Fuchs, GFZ Potsdam, og Niels Balling, AAU, redigeret af Annabeth Andersen, Geovidien

**HVOR VARM ER VORES UNDERGRUND?**

Man siger, at temperaturen stiger med ca. 20–30 grader pr. kilometer ned i undergrunden i dansk territorium. Olie dannes mellem ca. 60–120 grader, og ved ca. 100–200 grader dannes der gas. Olie- og gasdannelse kræver derfor groft sagt begravelse i 2–6 kilometers dybde. Man taler om et 'olievindue' og et 'gasvindue', hvor bjergarten med organisk materiale er i den rette dybde med rette temperatur og tryk til at danne enten det ene eller andet andet. Kildebjergarten skal dog ikke for dybt ned, for så nedbrydes den dannede olie og gas, og man siger, at bjergarten er blevet 'overmoden'.

Temperatur °C  
2.000 m dybde

- ≥ 50
- ≥ 55
- ≥ 60
- ≥ 65
- ≥ 70
- ≥ 75

På kortet på figur 2 her kan du se temperaturen i Danmarks undergrund i to kilometers dybde. Her ses det, at temperaturen i virkeligheden varierer en del, hvilket skyldes en forskel i, hvordan de forskellige bjergarter leder varme. Flere steder i denne dybde er der varmt nok til olieproduktion. Der er dog ikke fundet nævneværdige olieforekomster på vores fastland, kun ude i Nordsøen, hvor samtlige af nedenstående faktorer har været til stede, ikke kun temperatur.

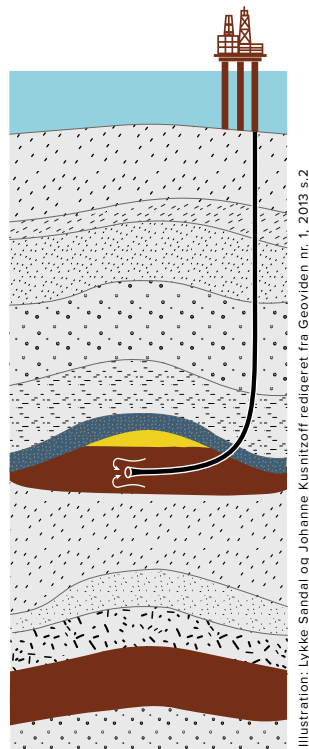
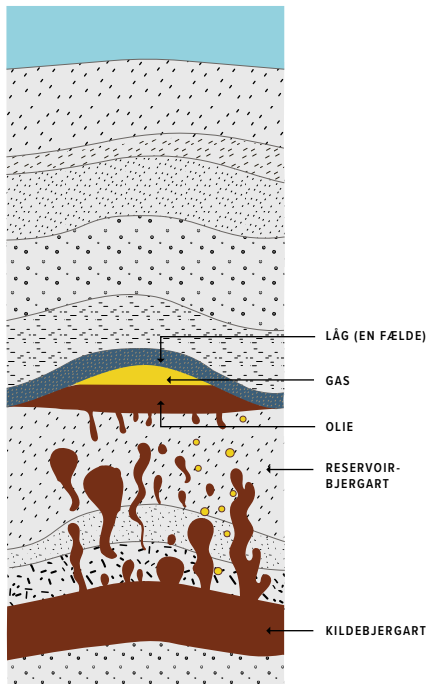
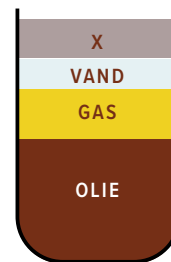


Illustration: Lykke Sandal og Johanne Kusnitzoff redigeret fra Geovidien nr. 1, 2013 s.2

**EN OLIE-GAS-COCKTAIL**

Det er næsten aldrig ren olie eller gas, man pumper op fra de underjordiske reservoirer, men en skøn-som blanding af grundvand, gas,

olie og forskellige væsker, der pumpes rundt i rørene for at hjælpe opdriften mod overfladen. Ved overfladen skilles de forskellige dele fra hinanden, og noget af vandet pumpes tilbage i undergrunden, så trykket holdes cirka konstant.

**5 HUSK LÅG!**

Hvis ikke der i undergrunden over 'køkkenet' tilfældigvis er et lag af meget hårdtpakket sten, som holder olien og gassen tilbage, forsvinder de nybryggede fossile substanser med årene op i havet (eller landoverfladen), og så bliver der ikke noget olie- eller gasfelt. Et område under sådan et låg kaldes en 'fælde'.

**6 GENNEMLØB**

Er der et låg til stede, kan der dannes et olie- og gasreservoir. Men skal man have olien og gassen op, skal den bjergart, den nu sidder i, have en vis grad af porøsitet og gennemstrømningsevne. Ellers er det for svært at pumpe effektivt op.

**7 ET RIGTIGT FELT!**

Lykkes alle disse ting på samme sted på en gang, kan man nu tale om at have et olie- og gasfelt (der kan være begge dele eller kun en af delene afhængigt af kildebjergart og begravelsesforløb).



# VERDENS STØRSTE OLIEREGIONER

FIGUR 3

De sorte områder viser kendte områder med store forekomster af olie og gas. Her har alle de geologiske betingelser for dannelse af olie- og gasfelter altså været til stede. Geologer kan bruge viden om, hvilke forhold der er dér, hvor der er dannet olie- og gasreservoir, til at lede efter nye forekomster i områder, hvor forholdene ligner de reservoirer, vi allerede kender. På den måde bruges geologien til at regne ud, hvor det er smartest at lede.



Kort: Lykke Sandal, Geovid'en



## Olien sidder fast i sten

De fleste olie- og gasfelter i den danske del af Nordsøen ligger i lag af kridt. Her tv. ses kerner fra Nordsøen fra sådan et kridtlag, hvor den ene kerne er fra et område med olie, der farver kridtet brunt. Når man pumper olie op, suger man faktisk olien gennem de mange mikroskopiske mellemrum (kaldet porerum) i kridtstenen og op i røret. Den danske Nordsø har dog også olie- og gasreservoir i sandsten. Også her suges olie og gas gennem sandstenens porerum. Der er altså aldrig tale om store underjordiske huler med olie og gas; det ligger altid inde i sten og kan faktisk godt være svært og energikrævende at få ud.





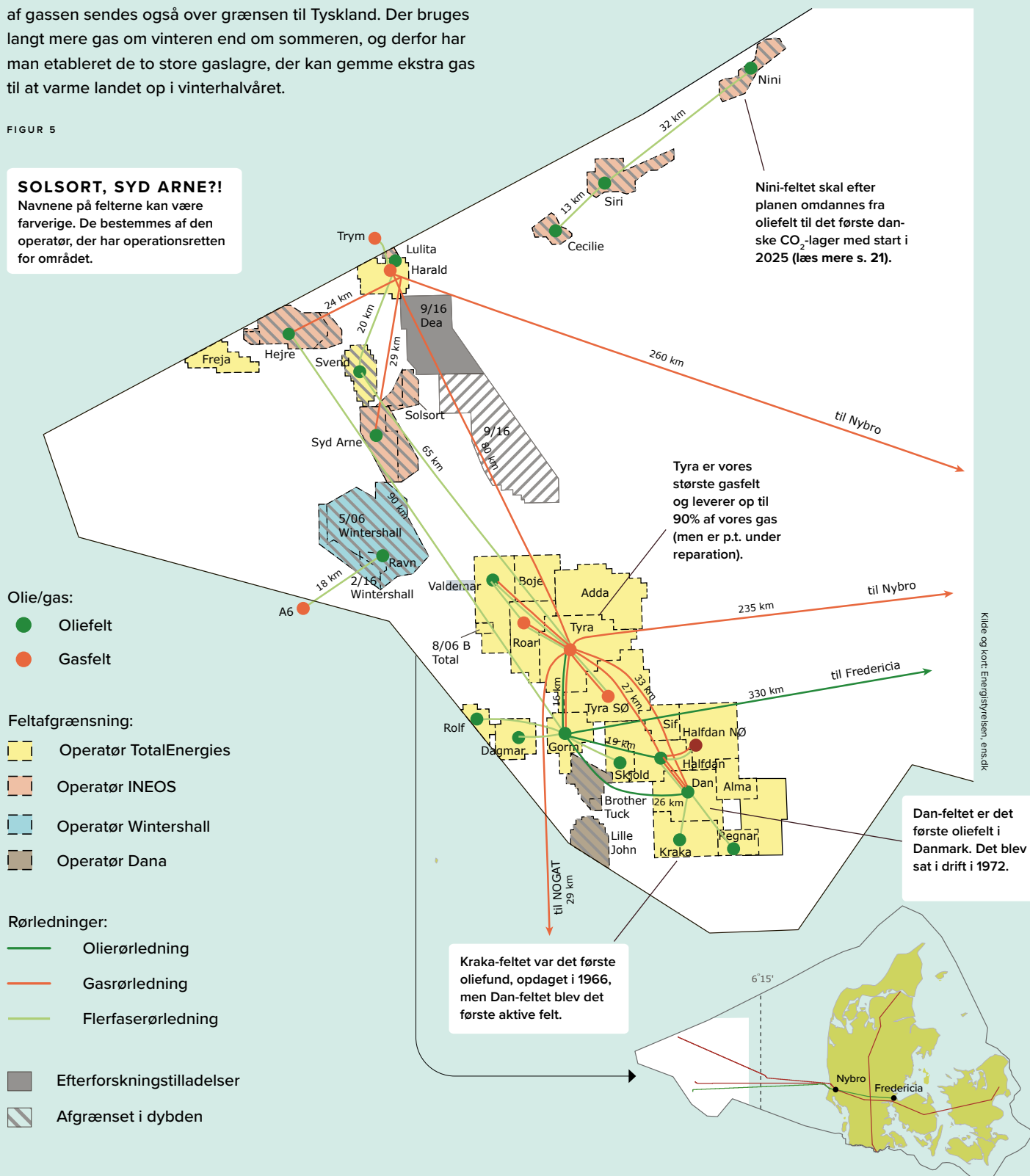
## DE DANSKE FELTER

I hele Nordsøen er der mellem 700 og 800 olie- og/eller gasfelter med omkring 20.000 brønde tilknyttet. I den danske del af Nordsøen er der 21 aktive olie- og gasfelter, omkring 400 brønde fordelt på 55 platforme. De danske felter i drift varetages af fire forskellige firmaer: TotalEnergies, INEOS, Hess og Wintershall. Felterne er koblet til store rørledninger, som sender olien og gassen til enten Danmark (via Nybro og/eller Fredericia) eller til andre lande, der køber det. Noget fragtes også med skib. I Danmark fordeles olien og gassen videre ud i landet, hvoraf en del af gassen lagres midlertidigt i underjordiske reservoirer – et på Midsjælland og et i Nordjylland. En del af gassen sendes også over grænsen til Tyskland. Der bruges langt mere gas om vinteren end om sommeren, og derfor har man etableret de to store gaslagre, der kan gemme ekstra gas til at varme landet op i vinterhalvåret.

FIGUR 5

### SOLSORT, SYD ARNE?!

Navnene på felterne kan være farverige. De bestemmes af den operatør, der har operationsretten for området.



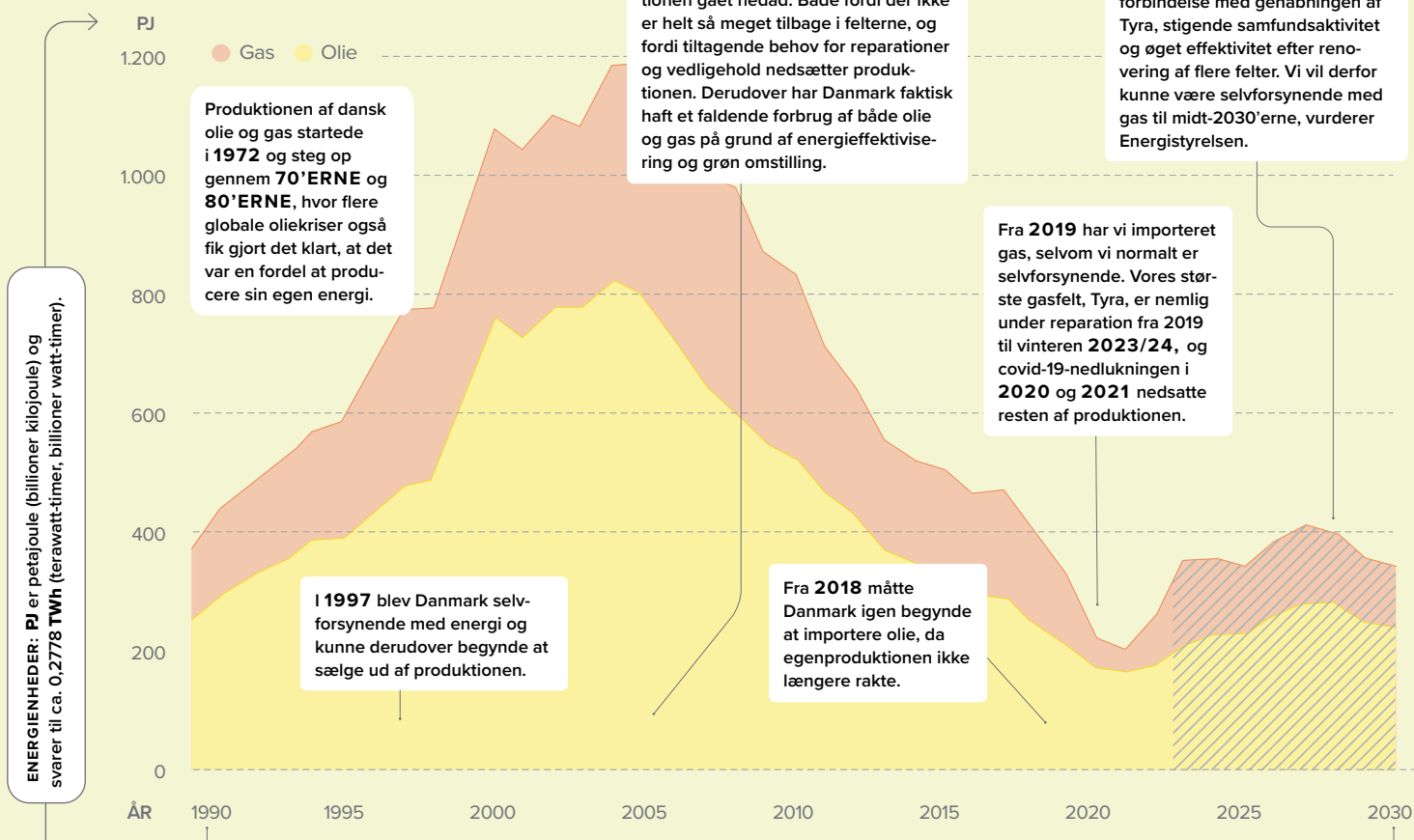
# 541

MILLIARDER KR.

Det er, hvad Energistyrelsen anslår, at den danske stat fra 1972 til og med 2020 havde tjent på olie- og gasproduktionen i Nordsøen, altså lidt over 11 mia. kr. om året i gennemsnit. Til sammenligning kostede det dyreste danske anlægsprojekt i nyere tid, Storebæltsbroen, ca. 21 mia. kr.

# DANSK OLIE- OG GASPRODUKTION

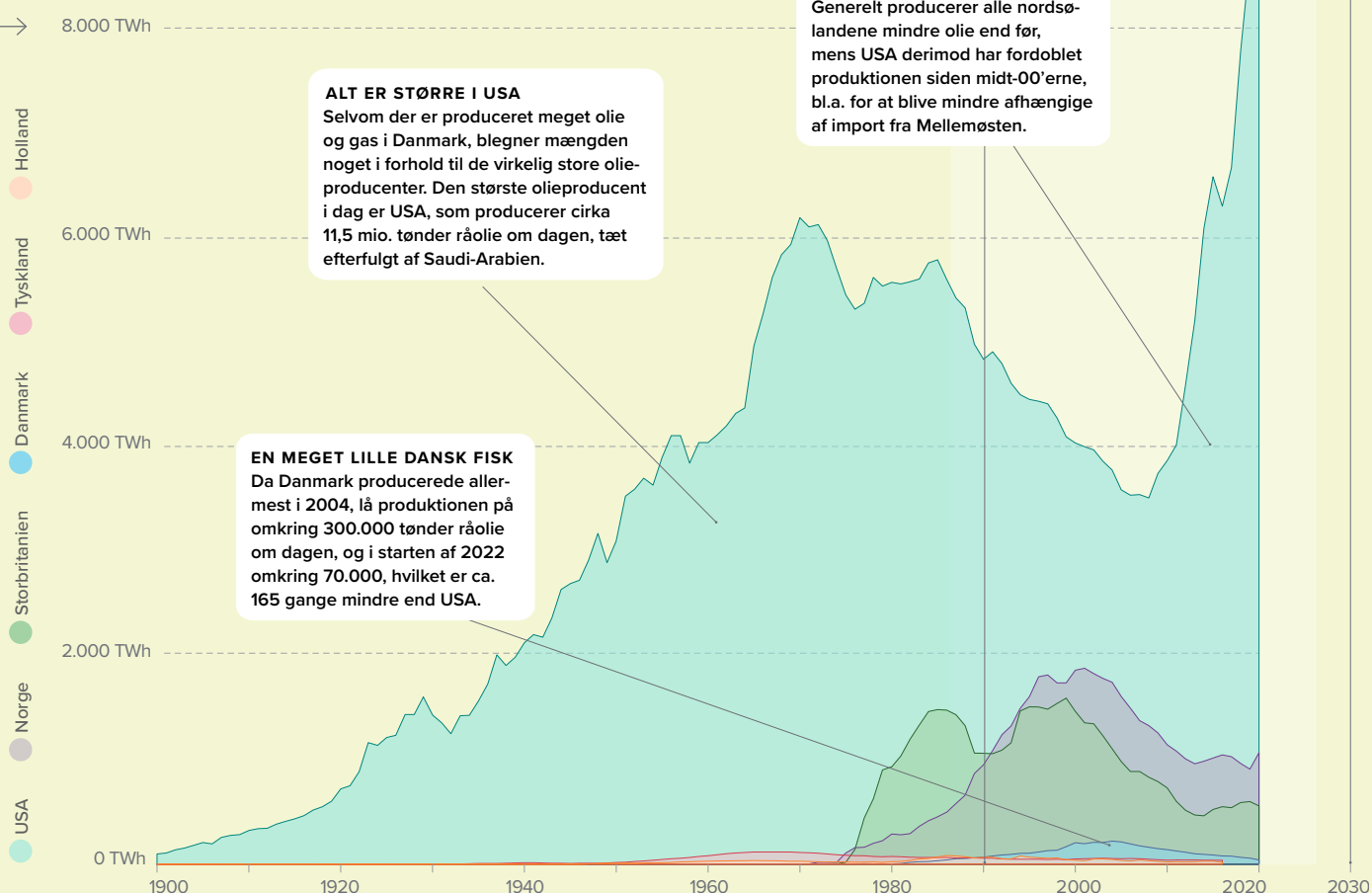
ZOOMET IND PÅ 1990–2030



FIGUR 7

## OLIE- OG GASPRODUKTION

I NORDSØLANDENE OG VERDENS STØRSTE PRODUCENT, USA

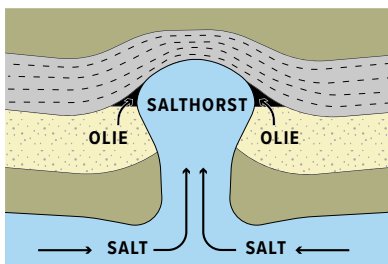


#### HVEM TILHØRER UNDERGRUNDEN?

Der havde ikke tidligere eksisteret nogen overordnede love om, hvem den danske undergrund tilhørte, men det kom der nu styr på med Undergrundsloven. Loven fastslog, at staten ejer den danske undergrund og kan give tidsafgrænsede tilladelser (koncessioner) til udvindelse af råstoffer som f.eks. olie og gas.

#### OLIEFEBEREN SÆTTER IND

I 1920'erne bliver der fundet underet olie i Tyskland ved saltforekomster i undergrunden, og oliefeberen forplanter sig til Danmark. Især da man i 1930'erne påviser, at vi har de samme saltforekomster som i Tyskland. Salten kan være en anelse flydende i undergrunden

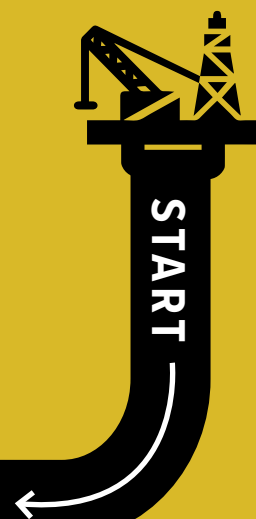


og bule op i puder (salthorste), der sommetider laver plads til lommer med olie fra dybere lag.

Illustration: Lykke Sandal, Geovidien

1932

1920'erne



# DET DANSKE OLIEEVENTYR

For præcis 50 år siden i 2022 blev Danmark et olieproducerende land, men der var mange års oliejagt med dybe borer over hele landet, før man endelig ramte rigtigt i Nordsøen. Med en udmeldt slutdato for olie- og gasproduktionen i 2050 er det på sin plads at tegne Danmarks godt 100-årige oliehistorie op.

TEKST: JOHANNE KUSNITZOFF LAYOUT: LYKKE SANDAL

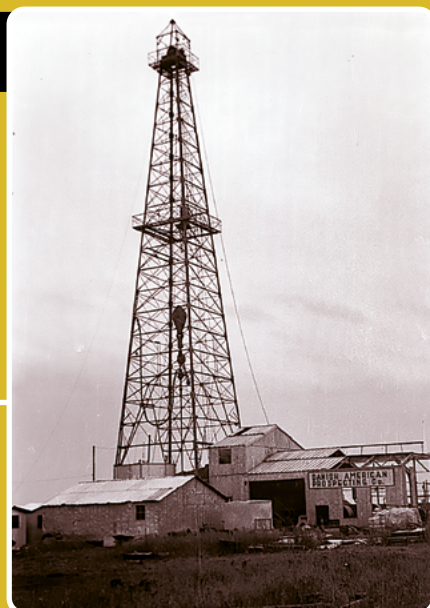
1935

#### AMERIKANERNE KOMMER

Amerikaneren Fred Rawlin og hans firma Danish American Prospecting Company (Dapco) får i 1935 den første koncession til olie- og gasefterforskning. Første boring laves samme år lidt uden for Kolding ved byen Harte.



Den første dybe boring i dansk undergrund ved Harte i Jylland i 1935, som nåede næsten en kilometer ned, dog med nogle problemer undervejs – som her, hvor røret er knækket. Dapco-ejer Fred Rawlin står som nr. to fra venstre.





**SALTSVINDEL!**

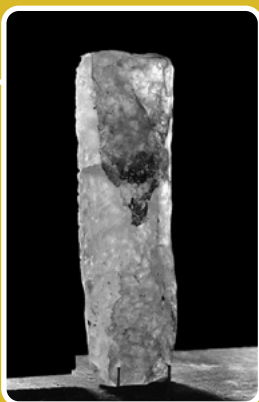
Efter slutningen af Anden Verdenskrig i 1945 igangsættes en undersøgelse af saltfundet, der viser, at saltkernen kom fra manufakturhandler P.A. Kruuse i Odense og ikke Rawlin boring. I mellemtiden har Rawlin dog solgt Dapco til et andet amerikansk oliefirma, Gulf Refining Company, for et ukendt beløb og er forsvundet. Man vurderer, at de ikke har noget med svindlen at gøre, så de beholder Dapco-rettighederne til hele den danske undergrund.

1945



Fred Rawlin får desværre snydt den danske stat godt og grundigt og slipper godt fra det. Her ses han ved en af de første boringer i 1930'erne med bl.a. daværende statsminister Thorvald Stauning og Rawlin selv.

1936

**DET SKÆBNESVANGRE SALT**

Efter to boringer ved Harte er der stadig ikke fundet olie, men Rawlin påstår i 1936 at have fundet salt i den ene boring. Da salt- og olie-rettigheder på dette tidspunkt hænger sammen, mener han, at saltfundet giver Dapco rettighederne til råstofudvinding i hele Danmarks undergrund i 50 år, også til olie. Regeringen er uenig, sagen kommer i retten, Rawlin får medhold, og Danmarks undergrund er hans.

1946-59

**OLIEN UDEBLIVER ...**

Der er stor undersøgelses- og boreaktivitet efter krigens afslutning. Der bores i alt 159 dybe boringer rundt omkring i Danmark på lidt over ti år (senere er der kommet mange flere til). Nogle steder finder man spor af olie, men ingen mængder, det tilnærmelsesvis kan betale sig at indvinde.

1959

**AMERIKANERNE OPGIVER**

Efter flere ejerskifter opgiver Dapco i 1959 al olie- og gas-efterforskning i Danmark.

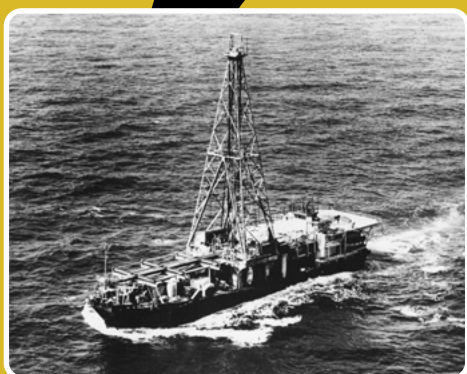
**MÅSKE ALLIGEVEL?**

Et stort gasreservoir findes samme år i Hollands del af Nordsøen. Det opdager til ny efterforskning i Danmark, særligt i vores del af Nordsøen, og nye udenlandske firmaer udviser interesse.

1963

#### PÅ DANSKE HÆNDER

Regeringen ser helst, at rettighederne bliver på danske hænder, og A.P. Møller – Mærsk får tilladelse til at udføre olie- og gasefterforskning både til lands og til vands i Danmark, inklusive rettigheder til udnyttelse af eventuelle fund i 50 år.



Boreskibet Glomar IV var det skib, man fandt det første danske oliefelt, Kraka, med.

1966

#### SUCCESS I NORDSØEN

Der er succes i første hug ved den første danske boring i Nordsøen i 1966. Det er i Danmarks sydlige del af Nordsøen (Kraka-feltet). Der går dog nogle år, før man får indvindingen i gang fra dette felt.



Foto: WikimediaCommons

1972



Foto: WikimediaCommons

#### FØRSTE OLIE OG GAS

Reel produktion af olie og gas påbegyndes i sommeren 1972 i det andet danske oliefund, Dan-feltet. Hanen bliver åbnet af HKH Prins Henrik flankeret af Mærsk Mc-Kinney Møller. Danmark er officielt en olie- og gasproducerende nation og har været det siden.

#### FRA HAV TIL LAND

Olie og gas fra felterne transporteres i dag i lange rørledninger på havbunden til Nybro og Fredericia og videre derfra.

2010'ERNE



Foto: Wikimedia Commons

**... SKADER VI KLIMAET?**

Det bliver tiltagende tydeligt for klimaforskere og siden offentligheden og politikere, at der er en global opvarmning i gang, og at den primært er forårsaget af menneskelig afbrænding af de fossile brændsler olie og gas. Ved FN's klimatopmøde i Paris i 2015 (fotoet) vedtager de fleste af verdens lande, at temperaturstigningen i 2100 ikke må overstige 1,5 grader sammenlignet med før den industrielle revolution. Siden har flere lande meldt målsætninger ud om at udfase fossile brændsler, herunder Danmark.

**DANMARK BLIVER SELVFORSYNENDE**

I 1997 er der kommet olie- og gasfelter nok i Nordsøen til at dække Danmarks energibehov, og vi kan begynde at sælge ud af det. Sådan har det været siden med gas og indtil 2018 med olie (dog med en undtagelse, læs s. 14 'sort uheld'). I årene op til postede staten og de private aktører mange penge i at opruste olie- og gasaktiviteterne i Nordsøen for at blive selvforsynende efter voldsomme forsyningsproblemer under oliekriserne i 70'erne og 80'erne.

1997

1981

**STATENS OLIE**

Mærskes 50-årige kontrakt rulles delvist tilbage ad et par omgange, og i 1981 besluttes det politisk, at den danske stat skal have rettighederne tilbage senest i 1986 (med nogle undtagelser). I stedet laver staten udbudsrunder, hvor firmaer kan byde ind på mindre dele af Nordsøen i kortere perioder ad gangen. Det er 8. udbudsrunde, der netop blev afløst i 2020.



Foto: Maersk Oil, TotalEnergies

Platform i det store gasfelt Tyra, som indtil 2017 var ejet af Maersk Oil. Maersk Oil blev i 2017 solgt til franske TotalEnergies, som driver felterne videre og nu er i gang med en stor renovering af Tyra-feltet.



2020

#### DEN ENDELIGE BESLUTNING

I 2020 vedtages det, at olie- og gasproduktion i Danmark skal have en slutdato. Den sættes til 1. januar 2051, hvor al produktion skal være ophørt og felterne afviklet.

#### HVORDAN LUKKER VI BEDST NED?

Hvordan afvikler man egentlig olie- og gasfelterne bedst og sikrest muligt? Bør de i stedet bruges til at lagre CO<sub>2</sub>? Og hvordan kan Nordsøen så bedst udnyttes til alternativ energi som f.eks. vind? Det blev der i 2020 igangsat et forskningsprogram til at undersøge under Danish Offshore Technology Centre, som du kan læse mere om fra s. 16.

#### EUROPÆISK GASKRISE TRUER

Krigen i Ukraine betyder stor usikkerhed omkring leverancen af gas fra Rusland, som normalt leverer en stor del af gassen til flere europæiske lande, f.eks. vores nabo Tyskland. Her startes en række lukkede kul-kraftværker bl.a. op igen for at være sikker på at have energi nok til vinteren 2022/23. Danmarks gaslagre er pr. oktober 2022 næsten fyldt til vinteren, men Energistyrelsen varsler, at der potentielt kan komme 'forringelser i leverancen'. Gassituationen har ikke p.t. ændret ved beslutningen om lukningen af olie- og gasproduktionen i 2050, og vi i Danmark i princippet er selvforsynende med gas i mange år frem.

2022

2030

#### OLIE- OG GASBEHOVET STADIG STORT

Selvom vi i Danmark gerne vil udfase olie- og gasforbrug hurtigst muligt, viser en beregning fra Energistyrelsen, at vores energiforbrug i 2030 stadig vil dækkes 40 procent af olie og gas. Felterne lukkes altså ikke bare lige i morgen, og når de gør, skal energien til varme og strøm og brændstof dækkes på anden vis.

#### SORT UHELD

#### HOVEDGASFELT UDE AF DRIFT

Danmark er selvforsynende med naturgas indtil midt-2030'erne og potentielt op til 2042, men alligevel tales der voldsomt meget i danske medier om, at vi skal være uafhængige af russisk gas. Uheldigvis falder Ruslands invasion af Ukraine sammen med, at vores største gasfelt, Tyra, renoveres fra 2019 til 2024, hvorfor Danmark importerer gas fra bl.a. Rusland.

2050

#### SÅ HVAD NU?

Efter 2050 er det slut med olie- og gasproduktion i Danmark. Bruges der stadig olie og gas, skal det udelukkende købes fra udlandet.

**OLIEBORINGER BRUGES I DAG TIL GRØN OMSTILLING**

En meget stor del af det, vi i dag ved om den danske undergrund, ved vi kun, fordi der er blevet boret efter olie og gas. Det er dyrt at lave borer, og jo dybere der skal bores, des dyrere er det. De fleste olie- og gasboringer er nogle kilometer dybe og har kostet mange millioner kroner. Hullerne ned i jorden giver mulighed for at se, hvad der faktisk er dernede. Inden da havde geologer måske nok ideer om, hvilke lag og typer af bjergarter der var dernede, men ingen kunne vide det med sikkerhed. Det blev derfor efterhånden klart, at borerne efter olie og gas skabte en dyrebar ressource i form af viden, der skulle passes på og gemmes for eftertiden. Derfor er det en del af Undergrundsloven, at hver gang der blev lavet borer i den danske undergrund, skulle der tages prøver og målinger undervejs. Begge dele skulle derpå sendes til Undergrundsarkivet hos De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (GEUS). Der blev hurtigt opbygget en temmelig stor beholdning af prøver fra nye og ældre borer.

I dag består GEUS' undergrundsarkiv (udover en masse rapporter og data) af omkring **70.000 SIRLIGT ORDNEDE TRÆKASSER**, som indeholder en blanding af de borespåner, der laves ved boringen, og solide, ubrudte kerner. Arkivet ligger i en stor lagerhal i Taastrup, som du kan opleve i vores temavideo på [geoviden.dk/oliedanmark](https://geoviden.dk/oliedanmark). Her fortæller to geologer om de mange forskellige ting, kernerne og prøverne er blevet brugt til. Blandt andet er materialet uundværligt til planlægning af flere grønne tiltag som geotermi og CO<sub>2</sub>-lagring.



MER PÅ [GEOVIDEN.DK/OLIEDANMARK](https://geoviden.dk/oliedanmark)



Foto: Anders Drud Jordan / Underground Channel

**KOM MED PÅ KERNELAGERET**

Hvordan bruger man de mange borekerner til forskning i den grønne omstilling? I vores temavideo på [geoviden.dk/oliedanmark](https://geoviden.dk/oliedanmark) kan du høre to forskere fortælle om, hvordan Undergrundsarkivets kerne-lager, bruges i meget forskellige typer forskning.



UNDERGROUND  
CHANNEL



Foto: GEUS



# NEDLUKNING

## ÅRHUNDREDETS OPRYDNINGSTJANS

TEKST: JOHANNE KUSNITZOFF ILLUSTRATION: LYKKE SANDAL OG JOHANNE KUSNITZOFF

Hvor der for eksempel skal tages højde for de fem punkter, vi undersøger her ...

Hvordan minimeres mængden af affald, der skal sejles ind til land og håndteres?

4

Bør platforme blive stående som kunstige rev til havliv?

5

PLATFORM

HAVBUNDEN

Kan vi undgå at skulle bore forkalkninger ud af brønden, inden vi hælder cement i, og bl.a. mindske transport af affald?

4

Har produktionen skabt unaturlig udsivning af gas til overfladen? Eller har det altid været sådan?

5

Siver der gas eller olie ud fra andre olie- og gasholdige lag ovenfor reservoiret og ind i brønden?

1

Væsken inde i røret hjælper til en vis grad med at holde olien og gassen nede i reservoiret.

3

FELT

### BARRIERER

Skal vi lave ekstra mange cementpropper, og hvor sidder de bedst?

Kan cementen holde til tryk og varme i den dybe undergrund?

Kan cementen holde til påvirkninger fra omgivelserne til evig tid?

Er der måske et endnu bedre materiale end cement til at lave en forsegling?

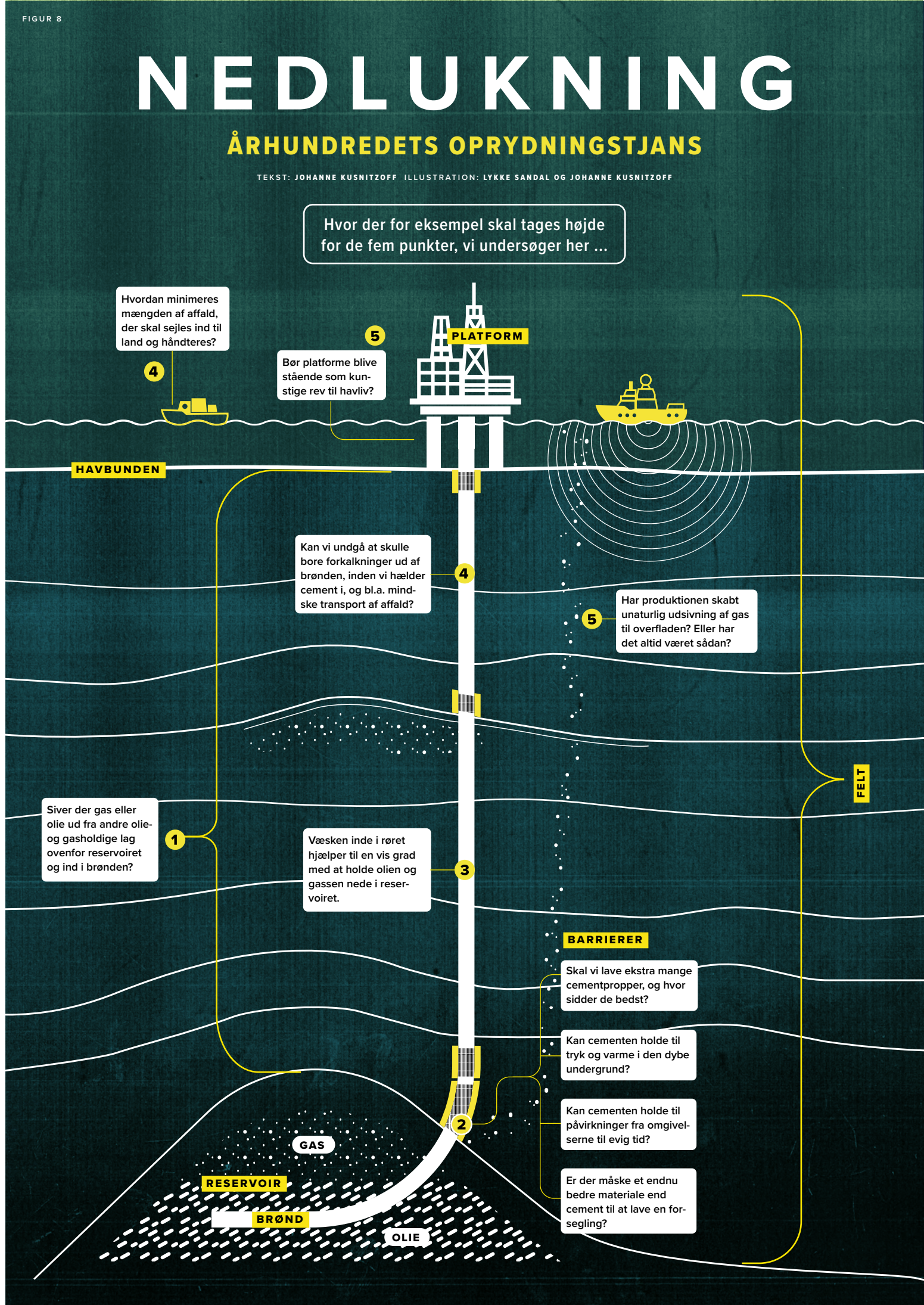
2

GAS

RESERVOIR

BRØND

OLIE





**Nedlukningen af den danske olie- og gasproduktion i Nordsøen er så småt ved at gå i gang. Det er en kæmpe stor og meget dyr opryddingsopgave, som mange af landets forskere derfor forsøger at gøre så velovervejede og effektiv som muligt.**

O liefesten er ved at være forbi i Nordsøen. Eller er i hvert fald nået til det stadie, hvor nogle af festdeltagerne begynder at sive. Den vilde ungdom med uanede muligheder og ekspansioner indenfor olie- og gasproduktion er et overstået kapitel, og næste kapitel hedder noget i retning af 'Neddrøsling med henblik på pension'. Pensionsdatoen er fra politisk side sat til 2050, hvor al olie- og gasproduktion standser, men allerede nu står flere felter over for udfasning og lukning.

En del af de omkring 400 olie- og gasbrønde i den danske del af Nordsøen er nemlig etableret for op mod 50 år siden og er ved at være slidte. Samtidig er flere felter også ved at være udtømt, og så er det tid til at lukke. I fagsprog kaldes det for 'abandonment', og selve brøndlukningen omtales 'P&A' for 'plug and abandon', som vel kan oversættes til 'sæt en prop i og forlad'.

'Plug and abandon' lyder måske nemt, men det er det selvfølgelig ikke. Det er derimod en "kæmpe arbejdsopgave", som Charlotte Nørgaard Larsen fra DTU Offshore formulerer det. Hun er programleder på centerets forskningsprogram 'Nedlukning af olie- og gasfelter', der blev sat i søen i 2020 med fokus på at optimere de forestående nedlukninger af olie- og gasfelter i den danske Nordsø.

"Programmet skal hjælpe med at skabe robust og omkostningseffektiv nedlukning med miljøsikring på kort og lang sigt. Abandonment er stadig lidt nyt her i Danmark, så der er flere ting, vi gerne vil forstå bedre, inden arbejdet med nedlukningerne for alvor går i gang," siger hun (se **eksempler på fig. 8**). Derfor er der udvalgt 11 forskellige forskningsprojekter, der vil forsøge at blive klogere på f.eks. selve materialet til forseglingen, sensorer til at kunne måle uønsket udsivning fra brønden m.m.

1

#### HVAD MANGLER VI AT VIDE?

Charlotte Nørgaard Larsen forklarer, at abandonment helt grundlæggende handler om at genskabe de isolerende lag i undergrunden, der er blevet boret hul i for at pumpe olien og gassen op. Og det er noget, hun har indgående kendskab til via sin tidligere stilling hos A.P. Møller – Mærsk, hvor hun var med til at planlægge og bore talrige af de brønde, som nu skal lukkes.

"I brugsfasen var alle de lag, der ligger oven over reservoiret, bare noget, man skulle ned igennem. Ikke noget, man tænkte så meget over. Nu, hvor man skal lukke ned, er de lag derimod vigtige at forstå," siger hun.

For eksempel kan der højere oppe være andre områder med olie og/eller gas, der potentielt kan sive op via den passage, brønden har skabt i undergrunden. Det er typisk områder, hvor der ikke har været olie eller gas nok til, at det kunne betale sig at udnytte det, forklarer hun, men der kan dog stadig være risiko for udsivning til overfladen fra dem. Derfor er en vigtig del af nedlukningen at vurdere geologien over reservoiret, og hvor stort såkaldt flowpotentiale der er i de øvre lag. Nogle lag kan nemlig også virke som naturlige forseglinger, hvis de er meget tætte og derfor har lavt flowpotentiale. På den måde planlægges det for hver enkelt brønd, hvordan lukningen præcis skal foregå. >

## NØGLEBEGREBER

### PLATFORM

Ved felter på havet er platformen den struktur, der stikker op over vandet, hvor selve produktionen og videre-sendelsen af olien og gassen foregår, samt indkvartering af medarbejderne. Et felt kan godt have flere platforme tilknyttet.

### FELT

Et olie- og gasfelt er et olie- og/eller gasreservoir, der produceres olie og/eller gas fra, og bruges også som

fællesbetegnelse for både reservoir, brønde og platforme.

### RESERVOIR

Et olie- og gasreservoir er en forekomst af olie og/eller gas nede i undergrunden, hvor de geologiske forhold gør det muligt at pumpe det op.

### BRØND

En brønd er en boring, der når ned i reservoiret. Siderne af boringen er styrket med beton, og indeni er der et

metallrør, hvor væsken med olien og gassen pumpes op til overfladen. En brønd i Nordsøen, der kan være flere kilometer dyb, består af flere rør, der overlapper hinanden for at give styrke og stabilitet. Øverst er rørene tykke og bliver smallere mod bunden. Et felt kan have mange brønde tilknyttet – dels for at udnytte det optimalt, men også fordi de kan slides op med tiden og skal erstattes. Man kan derfor godt lukke en enkelt brønd uden at lukke et helt felt.

## 2

### CEMENT MED ET EVIGT PERSPEKTIV

Selve forseglingen laves typisk med god gammeldags cement, der hældes ned i hullet, så det danner flere niveauer af barrierer op gennem undergrunden. Charlotte Nørgaard Larsen forklarer, at det oftest gøres i tre niveauer:

1. En forsegling lige over selve reservoiret, der genskaber det naturlige låg, der har holdt olien og gassen nede i jorden i tusinder af år.
2. Så en forsegling et sted i midten, eller måske flere, afhængigt af lagene og deres flowpotentiale.
3. Og til sidst en forsegling lige under havbunden (se fig. 9).

Det bliver dermed flere lag af cement, der holder på olien og gassen. Altså en temmelig central del af forseglingen, og derfor også noget, der forskes i under Nedlukningsforskningsprogrammet.

“Den almindelige cement, der typisk er brugt i andre lande, som har lavet nedlukninger (f.eks. Storbritannien og Norge, red.), fungerer indtil videre fint, men vi vil blandt andet gerne undersøge langtidsvirkningen nærmere. Over geologisk tid kan der ske mange ting i undergrunden,” siger hun.

Nedlukningen skal nemlig ske ‘med et evigt perspektiv’, som det hedder i abandonment-afsnittet i den omfattende norske manual om olie- og gasproduktion, som også bruges i Danmark (kaldet NORSOK D-010, 2013). De forseglinger, der laves, skal dermed kunne holde til ‘enhver forudseelig kemisk og geologisk proces’, som der står.

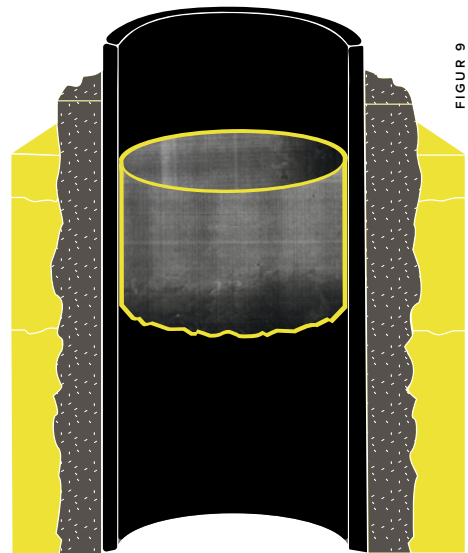
Derfor er professor Jørgen Skibsted på Aarhus Universitets Institut for Kemi i gang med at udsætte cementprøver for et utal af kemiske og geologiske processer, der med større eller mindre rimelighed vil kunne forventes at ske ude under Nordsøens havbund. Han fortæller, at der blandt andet er stor forskel på, hvad cementen skal kunne holde til lige ved havbunden og længere nede i brønden.

“Ved den dybeste plug mange hundrede meter nede i jorden kan der for eksempel sagtens være temperaturer på 65-70 grader celsius, og trykket er meget højere end ved overfladen.

#### NORDSØENS EGET FORSKNINGSCENTER

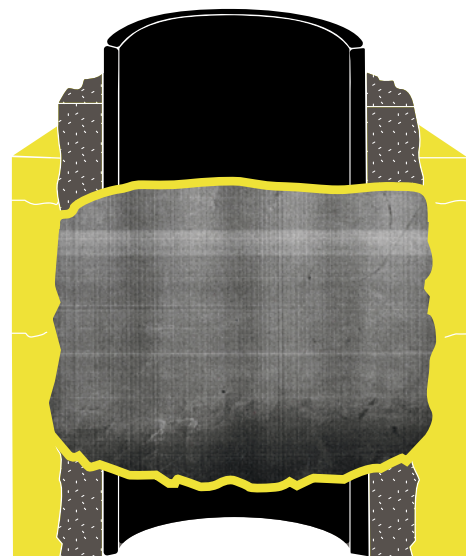
DTU Offshore, eller Danish Offshore Technology Centre (tidligere DHRTC), udvikler forskningsbaserede teknologiløsninger for offshore-industrien i Nordsøen. Centeret er et offentligt-privat partnerskab mellem Danmarks Tekniske Universitet, Københavns Universitet, Aarhus Universitet, Aalborg Universitet og De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (GEUS) finansieret af TotalEnergies, Noreco og Nordsøfonden. Centeret forsker i nedlukning af olie- og gasfelter, vedligehold af eksisterende brønde, underjordisk lagring af CO<sub>2</sub> og meget andet.

BARRIERETYPE 1



Cementbarriererne i olie- eller gasbrønden kan laves på flere måder, her er vist to. Hvis ejeren af brønden kan bevise, at cementlaget, der afstiver brønden uden om selve røret, er intakt og kan holde ‘med et evigt perspektiv’, så kan der laves en cementplug inde i røret som her.

BARRIERETYPE 2



Hvis ikke man er sikker på, at cementen uden om røret holder, skal man lave en ny cementbarriere, der går hele vejen ud til undergrunden. Ved begge typer skal det sikres, at der er lukket både inden i røret og på tværs af hele brønden.

Vandet dernede er også af en anden sammensætning end ved overfladen, og det skal cementen kunne tåle, også over lang tid,” siger han.

Det er klart, at man ikke kan vente i tusind og hundredtusinder af år på, hvad der sker med cementprøverne i laboratoriet. Evighedspektivet tilføjes i en computer, som han forklarer.

“Vores resultater tages videre i særligt udviklede computermodeller hos vores forskerkolleger ved DTU, som estimerer, hvad der sker med cementen over tid.”



## EN BRØNDBARRIERES 6 BUD

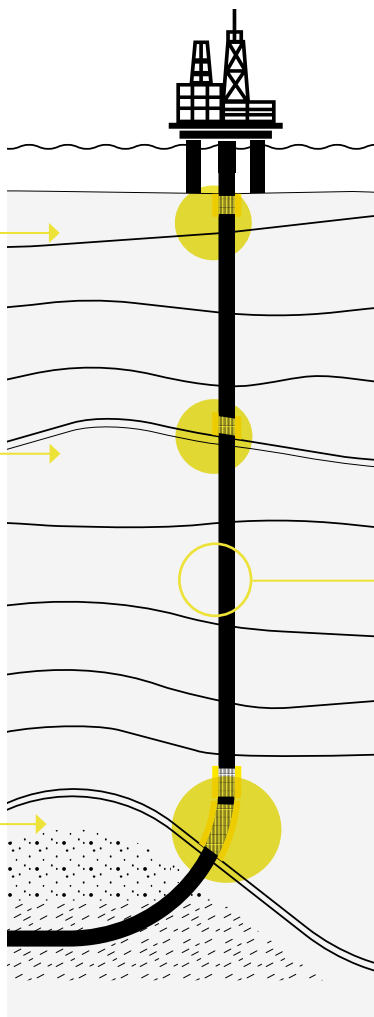
En brønd kan godt lukkes midlertidigt, men skal lukningen være permanent, er der særligt strikse krav. Permanente barrierer (der skal typisk være mindst tre) i en olie-/gasbrønd skal:

- være uigennemtrængelig (for relevante substanser)
- være langtidsvirkende
- ikke kunne skrumpes ind
- kunne modstå mekaniske trykpåvirkninger og slag
- kunne modstå relevante substanser, f.eks. svovlsyre, CO<sub>2</sub>, olie, gas
- kunne danne en tæt forbindelse til ståloverflader

Barrieren skal forsegle på tværs af hele brønden, dvs. helt ud til bjergarterne i undergrunden, så der lukkes af både lodret og vandret.

Kilde:

NORSOK D-010, 2013, en norsk standard for olie- og gasaktiviteter, som som også benyttes i Danmark.



# 3

## TRYK HOLDER OLIE PÅ PLADS

Det vil imidlertid sjældent være sådan, at der står en stråle ud med olie, hvis der går en revne i en cementprop. Det fortæller Christian Husum Frederiksen, som er production technology advisor ved DTU Offshore, og som også er med i Nedlukning-programmet. Han påpeger, at det selvfølgelig er meget vigtigt, at brøndene forsegles efter de gældende internationale standarder, men at olien og gassen i mange tilfælde vil have svært ved at komme op til overfladen af sig selv.

“I de her aldrende felter, som skal lukkes, er trykket fra olien og gassen nede i reservoirerne ikke længere højt nok til at overvinde selve vægten fra væskesøjlen inde i røret, som jo er en kolonne på måske tre kilometer. Det vejer en hel del, og det skal olien og gassen skubbe væk for at komme op til overfladen,” siger han (se fig. 10).

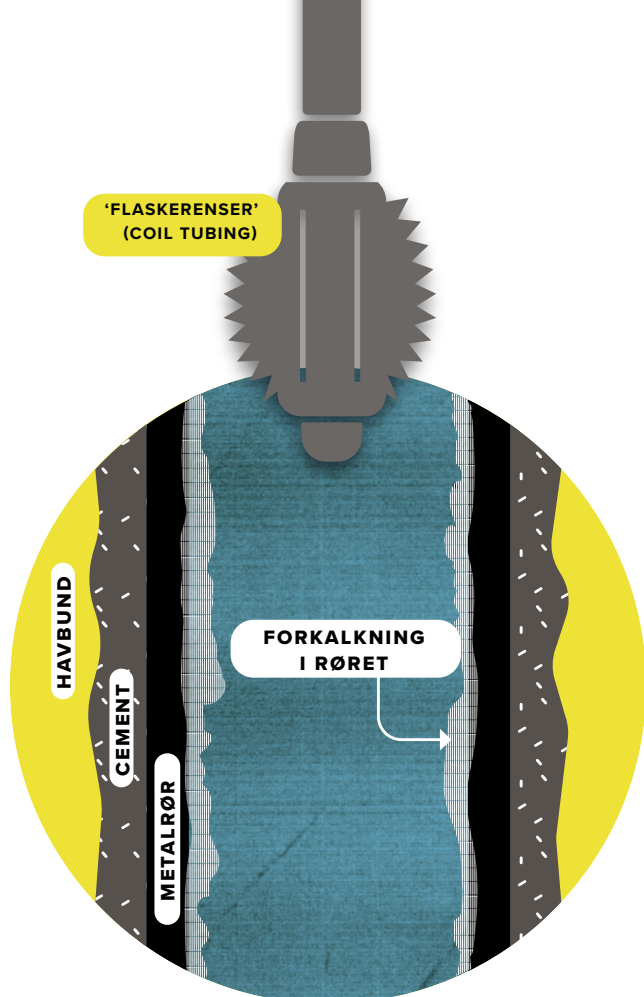
Når felterne er nyåbnede, vil trykket normalt være højt nok til, at olien og gassen kan komme op til overfladen, men det overtryk forsvinder med tiden, efterhånden som der bliver mindre og mindre olie og gas dernede.

“For overhovedet at få olie og gas ud af felterne skal man ofte hjælpe den på vej med det, vi kalder ‘gaslift’. Her pumpes ekstra gas ind i produktionsrøret, så væskekolonnen kommer til at veje mindre, og olien og gassen fra reservoiret bedre kan stige op til overfladen. Så hvis der mod forventning skulle opstå revner i forseglingen, er det min vurdering, at der ikke vil stå en stråle ud, men nærmere ske en langsom udsivning og formentlig primært af gas, ikke olie. Men det har man så de tre lag cement til at standse,” siger Christian Husum Frederiksen.

>



Der er typisk væske inden i rørene i en olie- og gasbrønd af den type, vi har i Nordsøen, typisk en blanding af vand, olie og gas. For at få den væske til at bevæge sig opad i røret, skal væsken nederst i røret overvinde vægten af al væsken ovenover, og det kræver højt tryk.



FIGUR 11

Med tiden dannes der typisk forskellige 'forkalkninger' nede i brønden, som det kan være nødvendigt at fjerne for at kunne lave en ordentlig lukning.

## 4

### BRØNDE MED SKÆL

Forseglingen med cementpropperne er imidlertid et af de sidste trin i en forudgående proces. Charlotte Nørgaard Larsen forklarer, at inden man pumper cement ned i brønden, skal man først have 'klargjort' brønden. Omfanget varierer fra brønd til brønd, men fælles for mange af dem er udfordringer med 'skæl'. I brøndens levetid vil der nemlig ofte dannes forskellige forkalkninger lidt i stil med dem i en elkedel eller bruser. I oliebrønde kaldes de 'scale', altså engelsk for skæl. Forkalkningerne kan gøre det svært at komme længere ned i røret for at sætte propper i forbindelse med klargøringen, men derudover vil cementpropper sat oven i en masse scales heller ikke kunne holde over tid.

"Er der rigtig meget scale, kan man være nødt til at bore det ud," siger Charlotte Nørgaard Larsen.

Det foregår ved, at man kører et stykke tyndt rør, coil tubing, ned i brønden og skraber scale af rørets inderside uden at beskadige røret, lidt ligesom en flaskerenser. Det er alt sammen meget dyrt og tidskrævende, samtidig med at det kan skabe problematisk affaldsmateriale, som skal opsamles og transporteres ind til land og gøres noget ved. Der er derfor også to forskningsprojekter under Nedlukning-programmet, der undersøger, om man kan undgå at bore scale ud.

"Én idé, vi arbejder med, er at udvikle et alternativt forseglingsmateriale i stedet for mekaniske cementplugs, som kan pumpes forbi forkalkningerne og stadig lave en forsegling. Men det er i en tidlig fase," siger hun.

Den anden idé, forskerne arbejder på, er, om scale kan forstærkes og dermed blive en del af en plug, hvis cementen sættes ovenpå, og man derved undgår at skulle fjerne scales'ne.

## 5

### MILJØ OG MULIGT GENBRUG

Så er der desuden hele spørgsmålet om havbundsmiljøet. Når et firma får lov til at producere olie, gas eller begge dele fra den danske undergrund, binder de sig samtidig til at efterlade havbunden og miljøet i samme tilstand, som de fik den.

Det kræver imidlertid, at man ved, hvilke ændringer i havmiljøet der skyldes produktionen, og hvilke der ikke gør. Det er faktisk ikke helt nemt, fortæller Charlotte Nørgaard Larsen. Der kan være tilfælde, hvor olie- og gasproduktionen i undergrunden har skabt unaturlige udsivninger af gas fra de dybere lag. Men der kan også være naturlige udsivninger af gas fra lag højere oppe i havbunden, og det kan være svært at kende forskel. Der er dermed ikke nødvendigvis et fast og sikkert sammenligningsgrundlag at holde omgivelserne op imod, når oliefirmaerne en dag skal 'aflevere' havbunden igen.

Det arbejder et hold forskere dog på at skabe. I 2022 har holdet haft to togter i Nordsøen for at prøve at skabe en slags ramme for at se, hvad der er olie- og gasproduktionens 'skyld', og hvad der ikke er (**læs mere s. 24-28**).

### INGEN LUKNING FØR FELTET ER TOMT

Olie- og gasfirmaer (kaldet operatører) kan ikke uden videre bestemme sig for at lukke og forsegle et olie- og gasfelt, men skal have en række godkendelser (indtil 2050). Bl.a. tilladelse fra Energistyrelsen, der forvalter Undergrundsloven, som licenserne til indvindelse af olie og gas er udstedt under. En operatør forvalter blot en tilladelse til indvinding af olie og gas på det pågældende sted.

Hvis Energistyrelsen skal give lov til en lukning, skal operatøren redegøre for, at det ikke længere kan betale sig at fortsætte produktionen af feltet. Energistyrelsen skal nemlig sikre, at staten har fået det maksimale ud af undergrundens ressourcer. Derudover skal det gennem tilladelsen sikres, at området bliver ryddet op og efterladt på en ordentlig måde. I sidste ende er det Energistyrelsen, der laver en afgørelse om nedlukning af et felt og tilbagelevering af den tilhørende licens.

Der er dog også teoretisk mulighed for at genbruge felterne til at opbevare f.eks. CO<sub>2</sub> som en del af klimakampen. Det kaldes CCS, **læs mere på s. 22-23**.

### ET FELT LUKKES PÅ ÉN GANG

Forsegling og permanent lukning vil typisk ske for et helt felt (flere brønde) ad gangen, da der skal en kæmpe operation i gang, som er for dyr at køre drypvist. Én brøndlukning koster typisk mellem 40 og 130 mio. kr. ifølge britiske Oil & Gas Authority. En lukning af et helt felt indebærer også fjernelse af alle installationer, herunder selve platformen.

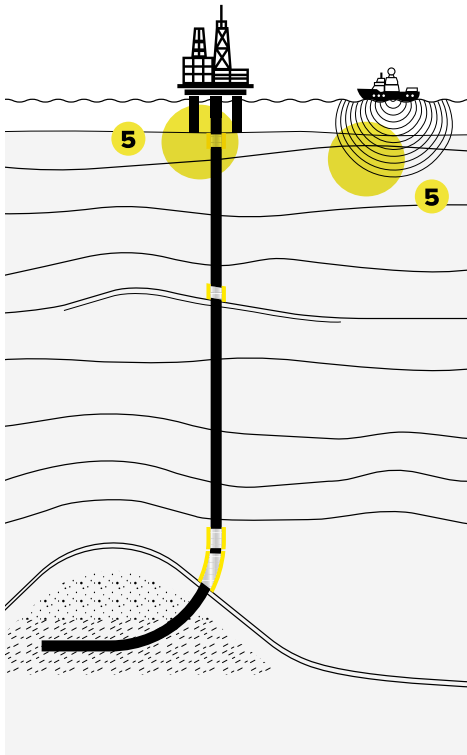
### EN POSITIV EFFEKT?

En stor del af nedlukningssnakken for tiden går desuden på, om fjernelse af installationerne overhovedet er den bedste løsning. For hvad nu, hvis boreplatformene og felterne kan bruges til noget andet? Noget, der har en positiv effekt på havmiljøet?

“Der mangler viden om, hvilken rolle platformene spiller for det maritime liv. Mange observationer viser, at de fysiske strukturer fungerer som en slags kunstige rev med skjulested og fødegrundlag for fisk, for eksempel den truede torsk. Før man tager beslutningen om at fjerne platformene helt, bør man derfor undersøge, præcis hvilken rolle de spiller,” siger Charlotte Nørgaard Larsen.

Ligeledes er der en voksende interesse for at bruge platforme og brønde til CO<sub>2</sub> fanget fra f.eks. energiproduktion og

tung industri, så den ikke belaster atmosfæren. Den teknik kaldes Carbon Capture and Storage (CCS) eller CO<sub>2</sub>-fangst og -lagring. Her kan de underjordiske reservoirer, som engang var fulde af olie og gas, genbruges til at opbevare CO<sub>2</sub>, som jo også er en gas (se side 22 - 23). Næsten lige meget hvad der skal



ske med de danske olie- og gasfelter, er det ret sikkert, at det vil kræve, at man ved noget om den geologi, de er udsprunget af, pointerer Charlotte Nørgaard Larsen.

“En del af den viden, der skulle til for at starte olie- og gasproduktionen, skal vi nu bruge i nedlukningsfasen, bare på en anden måde. Det er egentlig en meget rar tanke.” •

PSST! FLERE FOTOS ONLINE



Fotos: TotalEnergies

## TYRA SOM PRØVEKANIN

**TotalEnergies kan bruge den nuværende ‘totalrenovering’ af gasfeltet Tyra som træning til permanente nedlukninger.**

TotalEnergies er den største aktør i den danske Nordsø som operatør af 16 af olie- og gasfelterne, herunder det største danske gasfelt, Tyra, som er under totalrenovering og har været det siden 2019. Lige nu har firmaet ingen konkrete beslutninger om nedlukning af specifikke felter, men lederen for renoveringen af Tyra, Jens Kloster, fortæller, at det store projekt vil bidrage med mange gode erfaringer til fremtidige permanente nedlukninger. For at renovere Tyra har TotalEnergies nemlig været nødt til at fjerne alle platformene (se billeder herover) og bygge feltet op igen, hvilket har betydet at lukke helt ned for operationen og for brøndene. Altså en øvelse, der minder en del om det, man vil gøre, når felterne skal tages ned og brøndene permanent lukkes. Bare uden den permanente del, da Tyra skal startes op igen (som Tyra II).

“Vores erfaringer fra Tyra kommer ikke kun os til gode, men bidrager med helt nye rammer og pejlemærker i Danmark, som kan bruges til yderligere nedlukningsprojekter i den danske Nordsø,” fortæller Jens Kloster.

LÆS HELE ARTIKLEN PÅ GEOVIDEN.DK/OLIEDANMARK



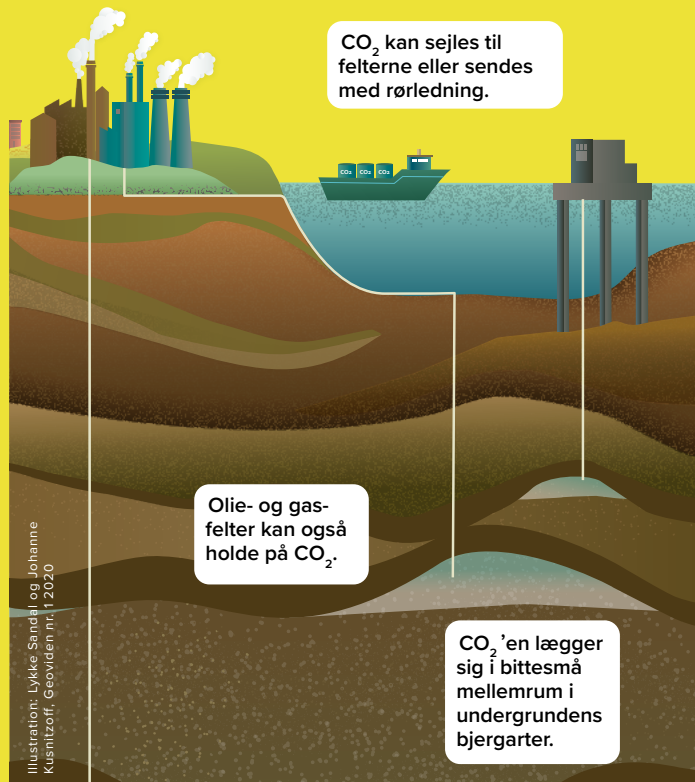
# Upcycling af tomme felter

**I stedet for at lukke og fjerne alt fra felterne hænger det godt sammen med både tidsånd og pengepung at tænke i en form for 'upcycling' af installationerne til CO<sub>2</sub>-lagre.**

Der er i 2022 gang i to store projekter, som undersøger muligheden for at genbruge de snart lukningsmodne felter i dansk farvand som underjordisk lager til CO<sub>2</sub>. Når man har pumpet det meste olie og gas op fra sit reservoir, er der jo – lidt forsimplet sagt – plads til noget andet dernede. For eksempel den problematiske drivhusgas. Teknologien kaldes CCS (for Carbon Capture and Storage) og er blevet kaldt 'uundgåelig' af FN's klimapanel, IPCC, hvis vi skal opnå Paris-målsætningen om ikke at lade den globale gennemsnitstemperatur stige mere end 1,5 °C i år 2100. Da hele Folketinget undtagen Nye Borgerlige den 3. december 2020 besluttede at udfase olie- og gasproduktionen, besluttede de samtidig at afsætte ca. 200 mio. kr. til CO<sub>2</sub>-lagring i de gamle felter. De blev i december 2021 fordelt mellem de to projekter Greensand og Bifrost. I den forbindelse sagde klimaminister Dan Jørgensen i den tilhørende pressemeddelelse:

"(...) Det er projekter som disse, der markerer vendepunktet fra sort til grøn. Vi har sat et stop for fremtidige udbudsrunder og en slutdato for olieeventyret. Nu vil vi inden længe kunne pumpe CO<sub>2</sub> tilbage i undergrunden."

FIGUR 12



## SÅDAN VIRKER CO<sub>2</sub>-LAGRING

- CO<sub>2</sub> indfanges fra store CO<sub>2</sub>-kilder som industri eller energiproduktion.
- Gassen komprimeres og transporteres via rørledning til et egnet underjordisk reservoir. Det kan f.eks. være gamle olie- og gasfelter.
- CO<sub>2</sub> pumpes ned i reservoiret, indtil det er fyldt, og brønden forsegles. Fordelen ved gamle olie- og gasfelter er, at de ofte har et tæt 'låg' mod overfladen, som vil holde CO<sub>2</sub>'en på plads.



## + Mere CO<sub>2</sub>-lagring?

Vi har et helt temanummer om CO<sub>2</sub>-lagring fra 2020 med grundforklaringer, interviews, modelleringer og meget andet samt videoer og podcasts.

Find det hele på [geoviden.dk/co2lagring](https://geoviden.dk/co2lagring)

Greensand-projektet tester CO<sub>2</sub>-lagringskonceptet i prøver af den grønne sandsten fra Nini-feltet. Her ses en renset og en urenset prøve fra Nini-oliereservoiret. Prøverne består af samme sten, den ene er bare stadig fuld af olie, ligesom den ser ud i reservoiret.

Foto: GEUS



Foto: INEOS Oil &amp; Gas Danmark

Nini-feltet er det nordligst beliggende i den danske Nordsø og tilhører INEOS Oil & Gas Danmark. Lagringen af CO<sub>2</sub> starter i feltet Nini West, men skal efter planen udvides til at inkludere flere andre, herunder i Siri-felterne. Begge felter er olieletter.

## PROJECT GREENSAND

### HVAD ER PLANEN?

Greensand vil lave CO<sub>2</sub>-lagre i Nini- og Siri-felterne i den nordlige danske Nordsø. Felterne består af en særlig type grønlig sandsten (deraf projekt-navnet). Pilotforsøgene starter ved Nini West, og siden vil man udvide til at lagre CO<sub>2</sub> i flere af områdets felter. I 2025 forventer Greensand at kunne lagre 1,5 mio. ton CO<sub>2</sub> årligt, hvilket med tiden vil stige til 8 mio. ton årligt. Der er bl.a. lavet en lang række laboratorieforsøg for at se, hvordan CO<sub>2</sub> opfører sig i præcis den slags sandsten, om det påvirker stenen m.m. I slutningen af 2022 forventer partnerne på den baggrund at kunne starte første pilotforsøg i selve feltet. Her vil man pumpe lidt CO<sub>2</sub> ned i det udtømte felt for at se, om der sker det samme som i laboratoriet, og derefter langsomt skalere op. Derudover er man sideløbende i gang med at effektivisere og opskalere transport- og fangst-delen.

### HVEM STÅR BAG?

Project Greensand består af INEOS Oil & Gas Danmark (hovedpartner) samt 28 projektdeltagere, herunder Wintershall Dea, INEOS Oxide Antwerp, Semco Maritime, Maersk Drilling, Blue Water Shipping og GEUS som forskningspartner.

## PROJEKT BIFROST

### HVAD ER PLANEN?

Bifrost arbejder på at finde den mest effektive måde at omdanne olie- og gasfeltet Harald i den nordlige, danske Nordsø til et CO<sub>2</sub>-lager, der (potentielt) kan lagre 3 mio. ton CO<sub>2</sub> pr. år med potentiale for 16 mio. ton årligt på sigt. Bifrost vil også vurdere muligheden for at omdanne andre reservoirer i Nordsøen til CO<sub>2</sub>-lagre samt muligheden for at anvende de mange rørledninger, der allerede eksisterer fra olie- og gasproduktionen.

### HVEM STÅR BAG?

Hovedpartneren er Total Energies som en del af Dansk Undergrunds Consortium (DUC) sammen med bl.a. Noreco og Nordsøfonden. Derudover deltager DTU Offshore og Ørsted.



## NORDSØ-TOGT:

# HVORDAN SPOTTER MAN ET UTÆT OLIE- OG GASFELT?

Hvilken effekt har det haft på havmiljøet ude i Nordsøen, at der er blevet boret og regeret i årtier? Det kan man kun vide ved at måle på det, hvilket danske forskere har gjort i 2022, herunder geolog Bodil W. Lauridsen fra GEUS, hvis beretning du kan læse her.

TEKST: BODIL WESENBORG LAURIDSEN, GEUS. FOTOS: BODIL WESENBORG LAURIDSEN OG PAUL KNUTZ, GEUS  
LAYOUT OG ILLUSTRATION: LYKKE SANDAL

“Hvad er det egentlig, I laver herude?” Spørgsmålet kommer konverserende fra kaptajnen midt i den ovnbagte laks til aftensmaden. Jeg trækker på smilebåndet, inden jeg går i gang med min forklaring. For ham er vi på endnu et rutinepræget job i Nordsøen. For mig og de andre videnskabsfolk ombord er det et eventyr, en unik mulighed for at indsamle ukendt materiale ude på de vilde vover. Langt væk fra det skrivebord, hvor vi ofte bruger mange af vores timer. Det er herude i naturen, at vi henter energi, motivation og

data til vores forskning. Jeg forklarer, at vi er taget på dette togt, kaldet SEEP (building a SEabed Environmental baseline for Platform abandonment), i Nordsøen for at indsamle kerneprøver fra havbunden og de underliggende lag. Vi er ude for at undersøge, hvor og hvordan gas siver

ud fra undergrunden og op i vandsøjlen. En del gas pibler af naturlige årsager op fra undergrunden, mens noget gas undslipper skjult fra dybet gennem utætheder, som de seneste 50 års olie- og gasaktiviteter

kan have skabt i de forseglende lag, der ellers normalt ville holde gassen dernede (se fig. 13). Vi kender ikke forskellen på den naturlige og den menneskeskabte gasudsvning, og det er derfor, vi er her. Grundige undersøgelser af sedimenterne, gastyperne, mikrober-

ne, de bundlevende dyr og geofysiske målinger af de dybereliggende lag kan nemlig være med til at gøre det nemmere at afgøre, hvor gassen kommer fra. Vi undersøger også, hvordan de dyr og mikrober, som lever i og på havbunden, reagerer på gasudsvning. Mange

organismer har igennem tusindvis af år tilpasset deres levevis til disse mere ekstreme forhold med forskellige grader af gasudsvning fra undergrunden, og deres tilstedeværelse kan måske hjælpe os til at forstå et områdes ‘gashistorie’. Viden fra vores studie er ikke bare vigtig i forbindelse med de kom-

“Vi kender ikke forskellen på den naturlige og den menneskeskabte gasudsvning, og det er derfor, vi er her.”

BODIL WESENBORG LAURIDSEN

SENIORFORSKER, GEUS

mende års nedlukning af producerende olie- og gasplatforme, men bidrager også til en øget forståelse af generel gasudsvning og er derfor unik viden, som kan bruges fremadrettet i vores arbejde med mulig CO<sub>2</sub>-lagring i de udtjente olie- og gasfelter.



Bodil Wesenberg Lauridsen og Lars-Georg Rödel gør klar til dagens prøveindsamlinger af lange havbunds-kerner fra havbunden over olie-feltet Gorm.



### SEEP-PROJEKTET

I Nordsøen er der gas flere steder i undergrunden. Der er gamle lag, der bruges til gasproduktion, meget dybt nede, men der er også yngre lag højere oppe, hvor der dannes ny gas ud af få millioner år gammelt plantemateriale. Vi ved, at der siver gas op fra undergrunden flere steder i Nordsøen, men det kan være svært at se forskel på gastyperne og vide, om gassen kommer op naturligt fra yngre lag, eller fordi olie- og gasproduktionen har forstyrret havbunden og skabt nye passager til overfladen fra de dybe lag. SEEP forskerholdet forsøger at finde svar på det ved at samle data inden for produktionsfelterne og i områder, hvor udsivning af metan med sikkerhed kan tilskrives naturlige processer.

SEEP står for 'SEabed Environmental baseline for Platform abandonment' og er del af forskningsprogrammet 'Nedlukning af olie- og gasfelter' under DTU Offshore-forskningscentret i samarbejde med De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (GEUS), Aarhus Universitet og TotalEnergies.

### HVAD ER SEDIMENTKERNER?

Sedimenter er f.eks. grus, sand og ler, der stammer fra nedbrydning af faste bjergarter, og mange af dem ender over tid på havbunden. Havbunden er derfor opbygget i lag af tidligere tiders forskellige sedimenter, som alle sammen fortæller om miljøet fra dengang, de endte der (blev aflejret). De øverste lag er typisk de yngste, og de dybere bliver ældre og ældre. Derfor kan sedimentkerner fra havbunden fortælle os meget om, hvordan verden så ud i fortiden. Herunder er en af kernerne fra Nordsøen lige hentet op.

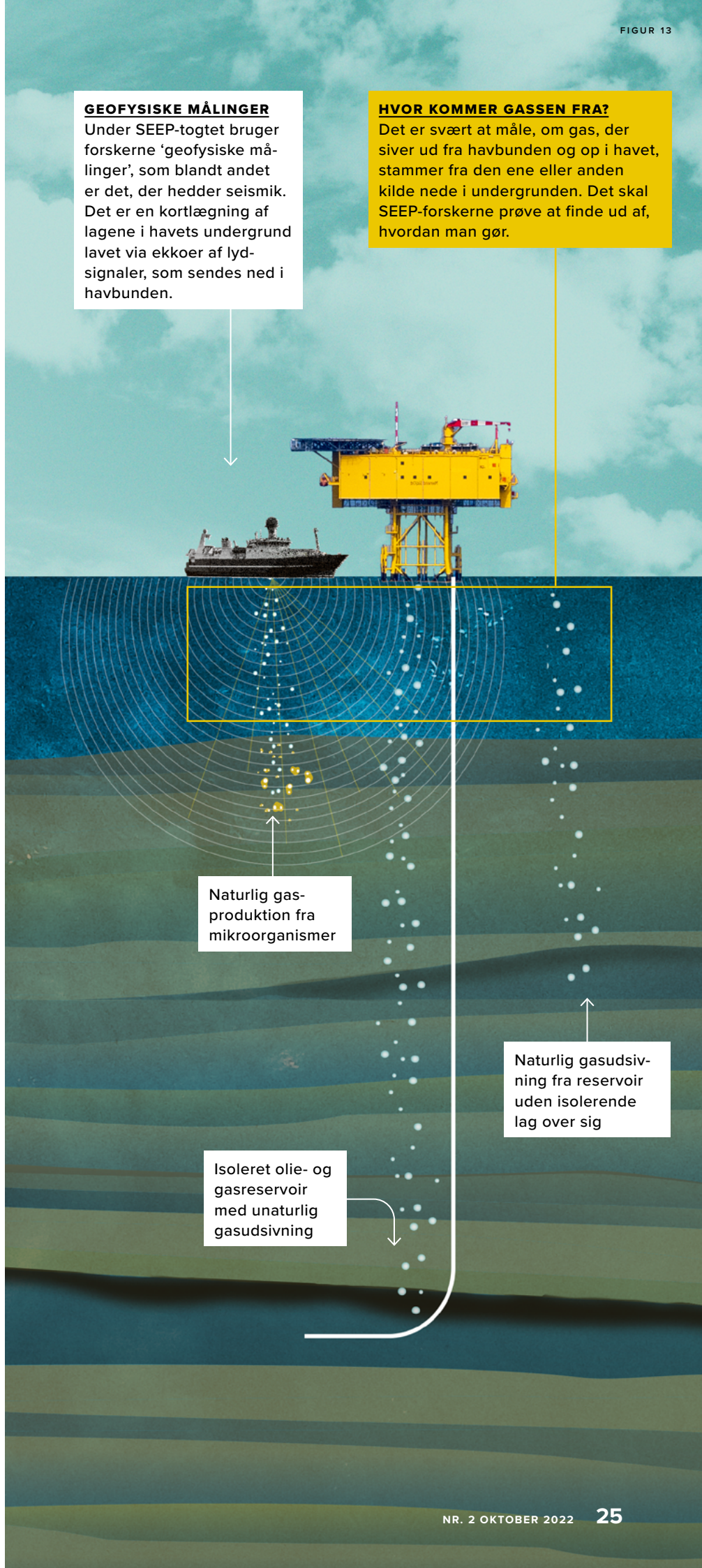


### GEOFYSISKE MÅLINGER

Under SEEP-togtet bruger forskerne 'geofysiske målinger', som blandt andet er det, der hedder seismik. Det er en kortlægning af lagene i havets undergrund lavet via ekkoer af lyd-signaler, som sendes ned i havbunden.

### HVOR KOMMER GASSEN FRA?

Det er svært at måle, om gas, der siver ud fra havbunden og op i havet, stammer fra den ene eller anden kilde nede i undergrunden. Det skal SEEP-forskerne prøve at finde ud af, hvordan man gør.

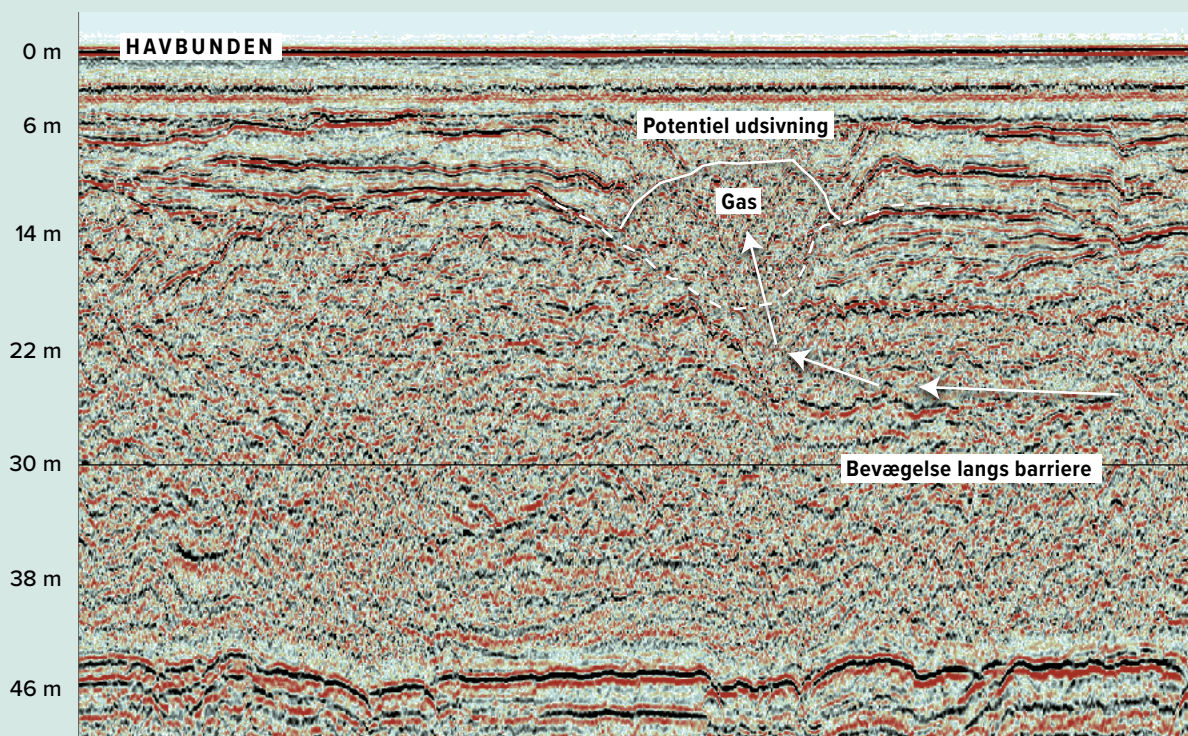




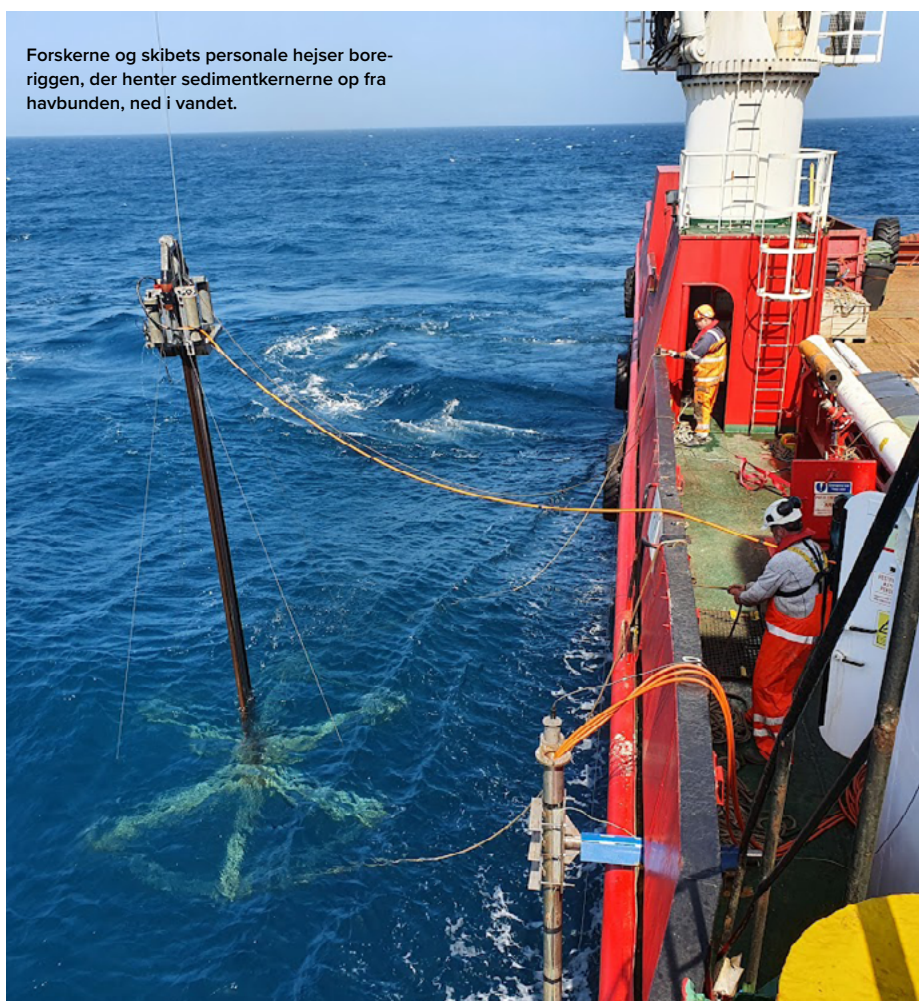
FIGUR 14

### **GASOPSIVNING I HAVBUNDEN**

Dette er en seismisk måling af havbund i Nordsøen med opstigende gas taget på et tidligere SEEP-togt, i maj 2022, langt væk fra boreplatforme for at kunne sammenligne med forholdene tættere ved platformene. Her th. er gasopsivningen derfor naturlig. Gassen ses ved, at den 'visker havbundslagene ud' helt til højre og stiger op og rammer et lag, den ikke kan komme igennem (en barriere), på ca. 20 meters dybde. Så bevæger den sig ud til siderne og finder et hul, der – potentielt, men ikke beviseligt her på billedet – giver adgang til overfladen.



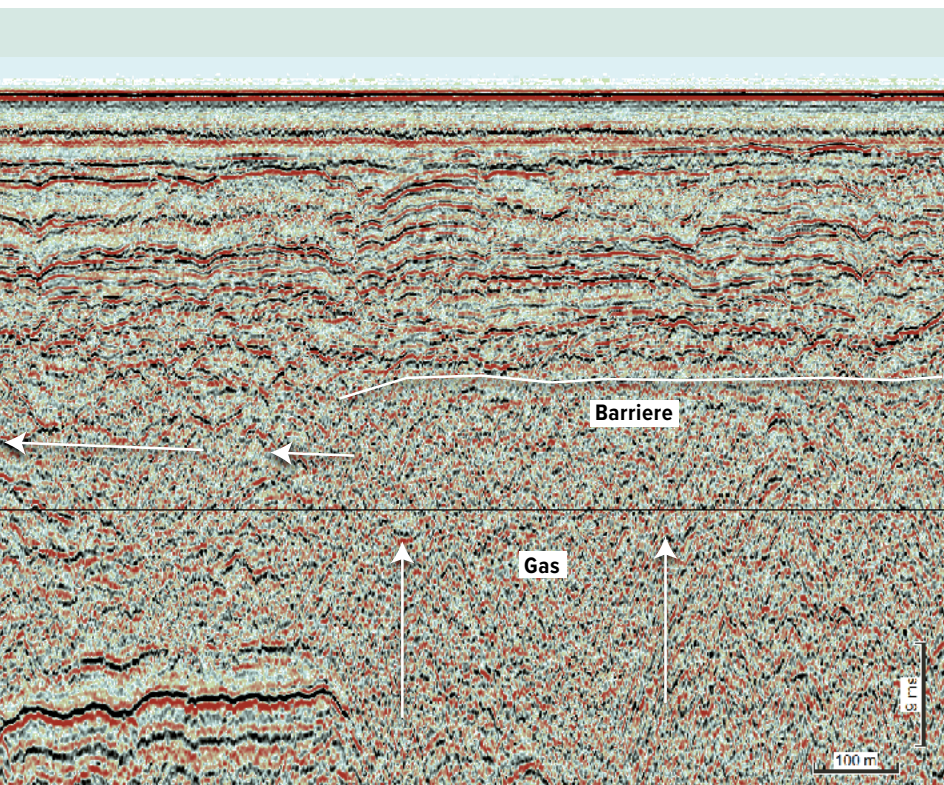
Forskerne og skibets personale hejser bore-riggen, der henter sedimentkernerne op fra havbunden, ned i vandet.



For olie- og gasoperatørerne i Nordsøen er det også vigtigt at vide, om gasudsivningen eventuelt er øget siden midt-60'erne, da boreaktiviteterne startede, sammenlignet med perioden før.

Kaptajnen smiler til mig. Vi snakker videre om dagligdagen derhjemme, og hvor anderledes den er end livet på den 81 meter lange tidligere russiske isbryder, som vi befinder os på. Måltidet er kort, og snart har vi alle været ude at takke kokken for den dejlige mad og fordele os ud til arbejdet igen. Nogle er ikke kommet til spisning i messen, for de er på natholdet og ligger i deres køjer og sover trygt. De fleste ombord er en del af det faste mandskab, og vi er kun en håndfuld forskere og teknikere, der er ansvarlige for det videnskabelige arbejde ombord. Desuden er der tre smede, som har erfaring med vores medbragte boreudstyr, samt en sikkerhedsansvarlig fra TotalEnergies, der skal sikre kontakten med boreplatformen, at sikkerhedsregler overholdes, og ulykker undgås. Normalt må skibe nemlig ikke sejle tættere på platformene end 500 meter, men det har vi ekstraordinært >



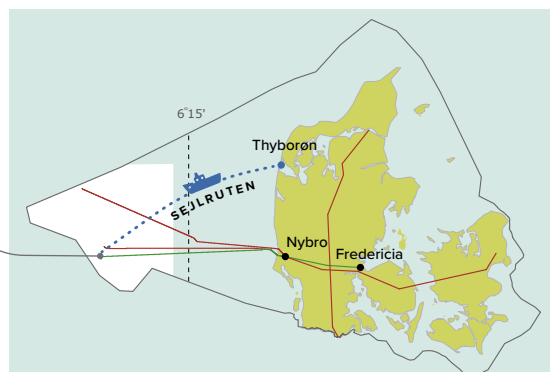
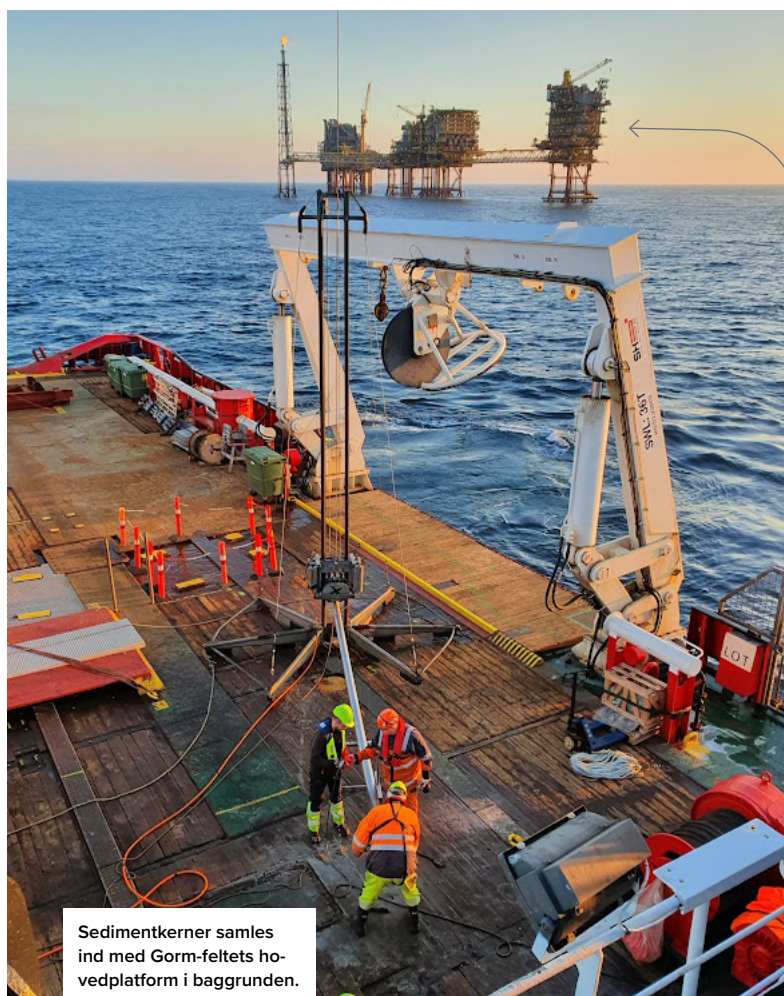


fået lov til. Så længe vi overholder en række sikkerhedsprocedurer fastlagt af TotalEnergies, som de har været med til at udarbejde i planlægningen af SEEP-projektet.

Indimellem at vi borer og tager målinger, forsøger vi at få lidt søvn i køjen, en hyggesnak ved bordene i messen eller en stille stund på broen. Det er vildt at stå øverst oppe på SIMA og skue ud over det uendelige hav med talrige borerigge i horisonten. Platformene er enorme bygningsværker, der rejser sig umotiveret og dragende midt i det vilde hav. Kokken hjælper også med til, at alt er nemt. Døgnet rundt er der rigelige mængder af mad i messen. I det milde vejr med rolig sø er det nemt at være forsker på havet.

#### HVOR SKAL VI TAGE PRØVER?

For et par timer siden ankom vi til Gorm, den første af de to platforme, som vi har fået specialtilladelser til at arbejde ved. I afstande på mellem 100 og 500 m fra platformen har vi fået lov til at måle og tage prøver. Vi starter med at lave geofysiske undersøgelser i et planlagt mønster omkring platformen. Dels for at se, hvad der er på havbunden, så vi ikke rammer ned i sten, rør, betonelementer etc. Dels for at finde ud af, om havbunden er blød, hård eller måske gasfyldt, og om der kan ses en lagdeling. Gas vil typisk træde relativt tydeligt frem på seismiske



SEEP-holdet sejlede ca. 200 km fra Thyborøn til felterne Gorm og Valdemar, ejet af TotalEnergies. Skibet var specialgodkendt til at måtte sejle tæt på de store bygningskomplekser i Nordsøen. Normalt må man ikke sejle tættere på end 500 meter. På et tidligere togt, i maj 2022, foretog holdet lignende målinger længere væk fra felterne for bl.a. at kunne sammenligne gasudslivning med og uden påvirkning fra olie- og gasproduktion.





## BODIL WESENBORG LAURIDSEN

SENIORFORSKER, AFDELING FOR  
GEOENERGI OG -LAGRING, GEUS

### UDDANNELSE/KARRIERE

Geolog, ph.d. og postdoc fra Københavns Universitet med afstikkere til University of Alaska, Fairbanks, USA, og Senckenberg am Meer, Wilhelmshaven, Tyskland. Har siden arbejdet som museumsgeolog på Østsjællands Museum med at etablere Geomuseum Faxe og som gymnasielærer i naturgeografi på Det frie Gymnasium og Efterslægten, som adjunkt på Statens Naturhistoriske Museum, ekstern lektor på KU og DTU og nu som seniorforsker ved GEUS.

### ARBEJDER MED

Forskellige aspekter af den geologiske rolle i den grønne omstilling: Hvad sker der i undergrunden, når vi forlader den aktive olieefterforskning i Nordsøen? Hvordan etablerer vi et CO<sub>2</sub>-lager, uden at der sker lækager i den cement, som vi lukker borerne med? Hvordan reagerer det omkringliggende miljø på et CO<sub>2</sub>-lager? Kan uddøde leddyr (trilobiter) bruges til at datere mineralogiske ressourcer i sedimentære miljøer? Kan man bruge geotermisk varme til energiforsyningen på Lolland? Hvor gamle er koralrevene i Grønland? Og tusind andre ting.

### HVORFOR VALGTE DU NETOP DEN KARRIEREVEJ?

Jeg elsker den gode naturhistorie. Geologien vrirler med dem. Alt er nyt og spændende baseret på komplekse datasæt fra en verden fra før, der levede mennesker. Vi hopper rundt i tid og sted som den største selvfølge.

### HVAD ER DET FEDESTE VED DIT ARBEJDE?

At ingenting kan løses alene. I GEUS er samarbejde drivkraften i løsning af opgaverne. Det elsker jeg simpelthen. Og så elsker jeg, at det er totalt nørdet. Vi kan begejstres sammen over de helt små ting, som måden, et sandkorn har aflejret sig på havbunden, eller hvordan en musling kan fortælle, hvor mange millioner år siden det er, at den var levende, eller nyheder fra et vulkanudbrud på Island.

### HVAD VILLE DU ØNSKE, AT FLERE VIDSTE OM DIT ARBEJDSFELT?

Hvor mange dele af vores alles hverdag, der involverer geologi. Lige fra grundvand, råstoffer og ressourcer og CO<sub>2</sub>-lagring til geotermi, affaldsdeponering og fremtidens klima (vores store viden om fortidens klima er også en fantastisk kilde til forståelse af den nuværende klimakrise). Vi har et kæmpe formidlingspotentiale.



Bodil Wesenberg Lauridsen trækker prøver op med en sprøjte fra en nyindhentet havbundskerne for at fange eventuel gas, inden den forsvinder i luften.

målinger (se fig.14 på side 26). Gasens tilstedeværelse ændrer nemlig på det billede af havbundens struktur, som vi kan se via seismik. Mine kollegaer fra GEUS, marin tekniker Lars-Georg Rödel og geolog og togtleder Paul Knutz, har ved hjælp af lydbølger fra sedimenttekkolodet fået foreløbige billeder af undergrunden, som vi bruger til at vælge de mest velegnede steder til at lave vores indsamling af borekerner. Vi har besluttet os for otte boresteder med en vis afstand fra hinanden, som ser interessante ud. Snart er det biologen Hans Røy fra Aarhus Universitet og mig, geologen fra GEUS, der nu er ansvarlige for dataindsamlingen af borekerner fra havbunden. Smedene får ved hjælp af kranen og dækspersonalet på SIMA hejst vores mini-borerig ned på havbunden. I det øjeblik, riggen rammer havbunden, aktiveres en vibrator, som gør det muligt at bore ned gennem lagene og indsamle fem meter lange havbundskerner. Vi er heldige: Udstyret fungerer upåklageligt, og snart har vi et rør med fem meter sediment-

kerne på dækket af SIMA. Vi ser straks, at vi er kommet dybt i havbunden og har fået prøver fra de lag fra istiden, vi ved er herude i Nordsøen. Jeg fortæller smeden, at det er første gang, dette lerlag ser mennesker. Han griner til mig. Kernerne kommer i et langt, sammenhængende stykke, så næste trin er nu at skære dem ud i passende en-meters stykker, som er nemmere at håndtere. Først kaldes broen dog op med besked om, at riggen er sikkert på dæk, og de kan sejle videre til næste borested lidt tættere på platformen. Hans og jeg står på spring. Dels skal vi have fingrene i sedimentet og beskrive det, inden kernen tapes sammen og lukkes. Dels skal vi indsamle de flygtige gasprøver, som hurtigt forsvinder heroppe i fri luft. Hans får med små sprøjter suget få milliliter gas fra sedimentet ud til det ene prøveglas og prøver af mikroberne ned i et andet. Jeg samler prøver til undersøgelser af havbundsmiljøet og en lille prøve sediment af havbunden for at finde de levende foraminiferer (mikroskopiske organismer, der lever på



#### HVAD SÅ NU?

I september 2022 er holdet i gang med at beskrive, fotografere og scanne sedimentkernerne og tage prøver ud til datering af, hvor gamle lagene er. I første omgang har de udvalgt otte kerner, som de fokuserer på. Der er på baggrund af geofysiske målinger lavet en foreløbig, grov geologisk model for områder med og uden olie- og gasproduktion. Holdet har kortlagt, hvor i undergrunden der er overfladenær gas, og skal nu kortlægge dybere gasforekomster. I løbet af de næste par måneder forventer de at få svar på kerneprøverne og se, om de passer med kortlægningerne af gas ud fra seismikken.

og i sedimentet). Vi siger ikke meget til hinanden, mens arbejdet står på. Her er der ikke plads til udenomssnak. Det er som et teaterstykke med en stram koreografi. På næste borested gentager samme teaterstykke sig. Og det næste igen. Det bliver til en forestilling med 21 kerner indsamlet på 15 forskellige boresteder, 15 prøver af havbunden til foraminifer-analyse, 31 miljøprøver og 130 gas- og mikrobeprøver.

#### ARBEJDET FORTSÆTTER PÅ LAND

Alt det er vel at mærke bare de prøver, vi tager ude på havet. Hjemme i laboratorierne starter det egentlige arbejde. Hans Røy skal analysere gasprøverne for at undersøge, om det er gas fra en naturlig gasudsvining eller gas fra de dybereliggende lag, der er kommet op til overfladen på grund af olieaktiviteterne. Disse spørgsmål kan også analysen af mikroberne svare på. Mikrober er nemlig så snedigt indrettet, at de forskellige arter lever af forskellige typer gas. Derfor kan man ud fra sammensætningen af mikrobe-

typer regne ud, hvilke gastyper der må være til stede. Jeg skal beskrive kernerne og ved hjælp af de vekslende lag af ler, silt og sand se, hvordan havbunden lige der er blevet skabt. Vi tager også isotopanalyser af sedimenterne og de skaller fra dyr, som vi finder, og håber på derudfra at kunne sige noget om de forskellige sedimentlags alder og aflejringsmiljø. Studier af foraminiferer og muslinger kan forhåbentlig fortælle noget om, hvordan dyrene overlever i gasholdige miljøer.

Paul Knutz og GEUS-maringeolog Lasse Prins, der ikke er med ombord, skal analysere de geofysiske, seismiske data og få lavet lange profiler, der viser opbygningen af undergrunden under havbunden. Ved at sammenholde de geofysiske data med analyserne af borekernerne og deres indhold af gas, mikrober og dyr er vi – forhåbentlig – i stand til at lave en model for, hvordan udviklingen og vilkårene har været omkring boreplatformene i de seneste par tusind år. På den måde kan

vi få ny viden om, hvordan gas siver ud af undergrunden, og skabe en slags grundlinje ('baseline') for gasudsvining, før og efter olie- og gasaktiviteterne begyndte. Desuden har vi indsamlet såkaldte multistråle-ekkolodsdata, som giver en tredimensionel afbildning af havbunden. Dette vil tilføje viden om det dynamiske miljø, som styrer aflejringer af nye havbundslag i dag. Med det øgede fokus på multifunktionelle aktiviteter i Nordsøen (etablering af energioer, vindmølleparker og CO<sub>2</sub>-lagre) er disse data enormt vigtige. Det er første gang, et forskerhold har forsøgt sig med denne type studier, så vi glæder os til at se resultaterne.

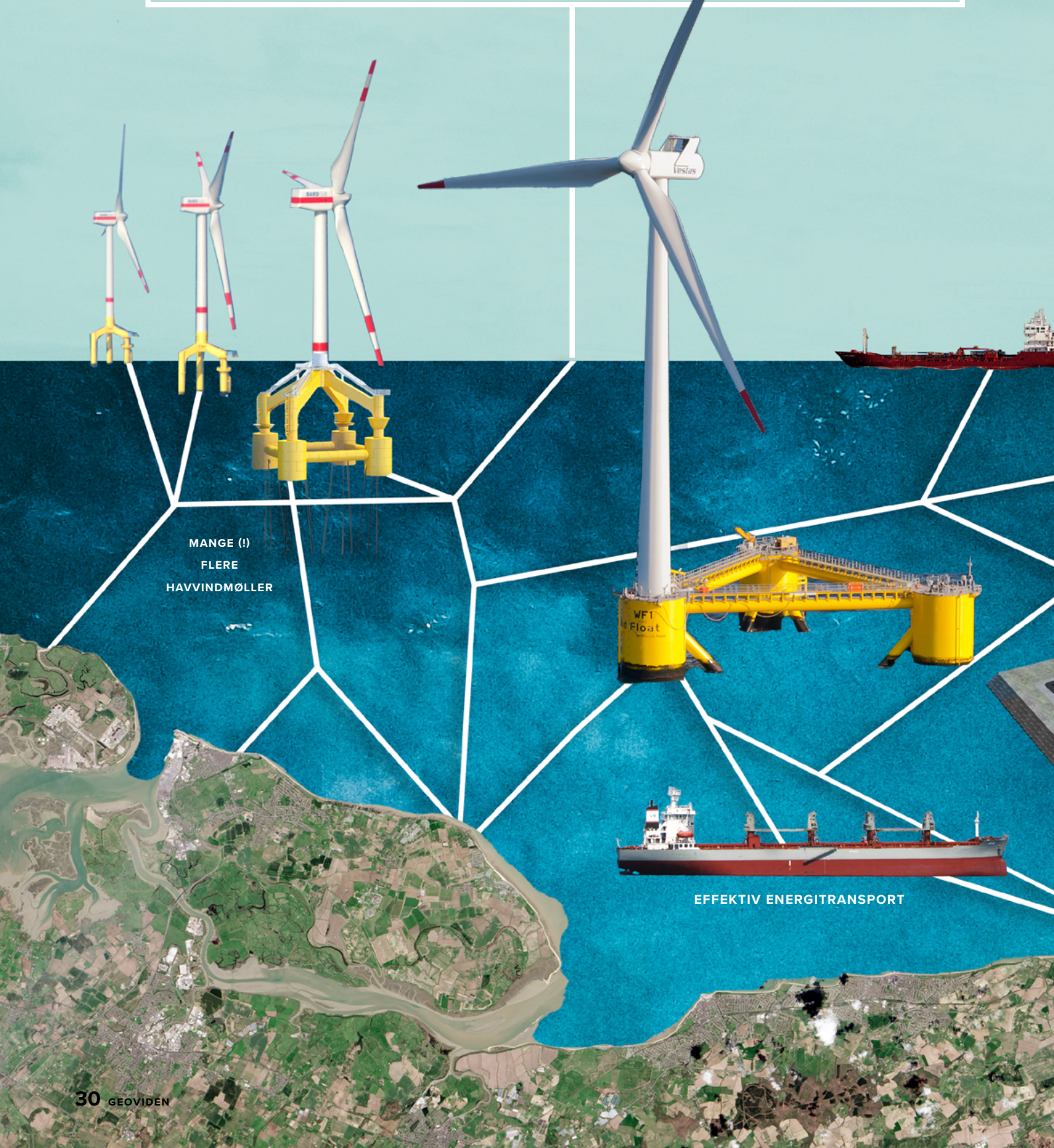
Efter knap fire døgn i søen er vi retur på kajen i Thyborøn. Det er gået stærkt. SIMA er snart på vej ud i Nordsøen igen for at lægge kabler til de nye energioer. Vi andre skal hjem i laboratorierne og til computeren for at analysere data. Vi glæder os til næste gang, muligheden byder sig for et nyt forskningsstøt! •



# NORDSØEN – HVAD NU?

Nordsøen dækker lige nu en stor del af energibehovet hos alle nordsølandene og kan faktisk blive ved med at gøre det uden olie og gas, hvis vi arbejder sammen. Når vi i de kommende årtier lukker ned for olie- og gasprojekterne, er det således ikke et farvel til energi fra Nordsøen, det skal bare gøres på nye måder.

TEKST: JOHANNE KUSNITZOFF ILLUSTRATIONER: LYKKE SANDAL OG DAVID QUIRK



MANGE (!)  
FLERE  
HAVVINDMØLLER

EFFEKTIV ENERGITRANSPORT



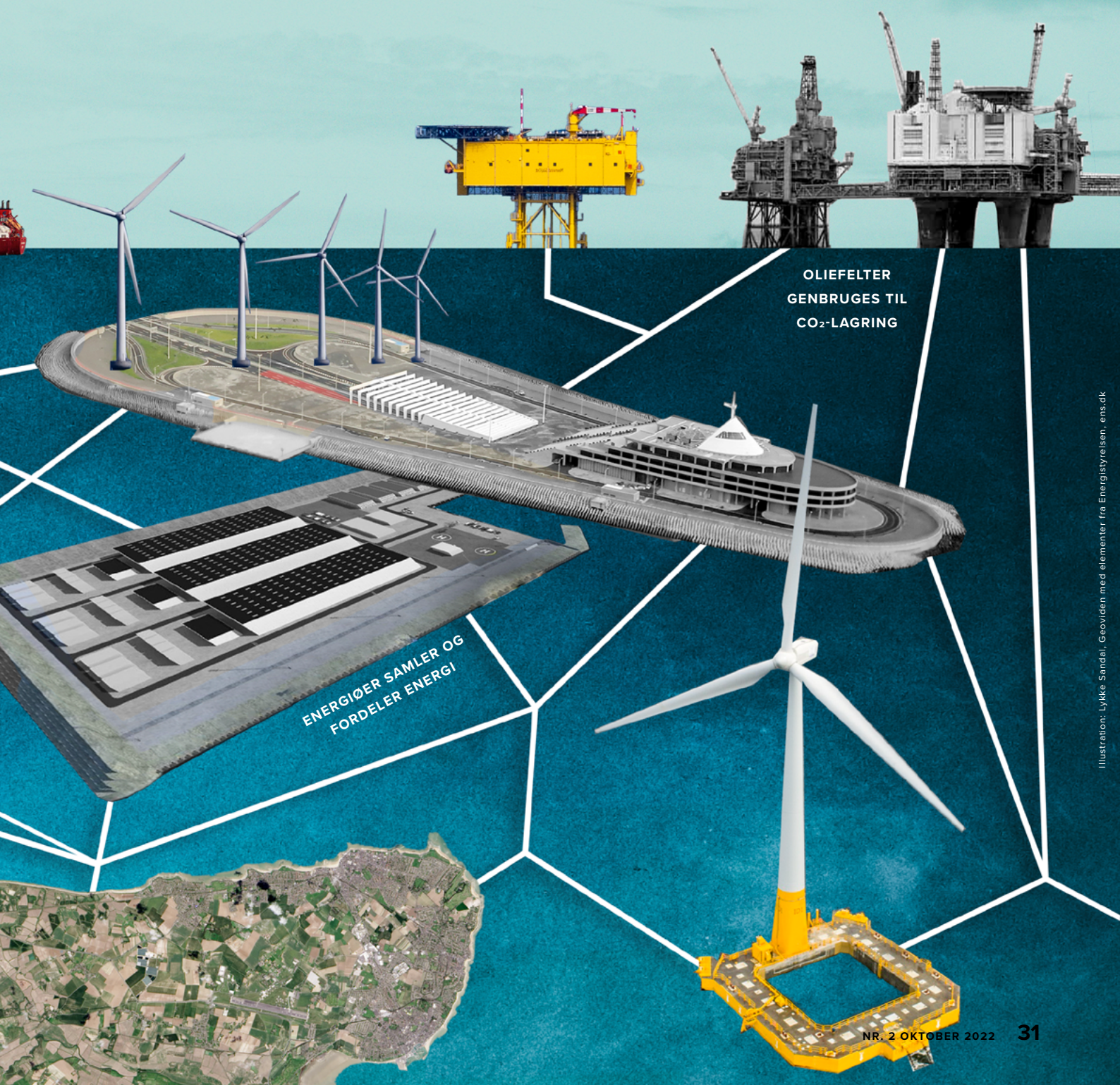
Når det fra og med 2050 er slut med at producere olie og gas fra felterne i den danske del af Nordsøen, skal energien til den tid komme fra et andet sted. Det problem er der heldigvis mange kloge hoveder, der arbejder på at løse. Et af dem tilhører David Quirk, der efter mange år som geofysiker i oliebranchen nu bruger sin viden om Nordsøen og energiproduktion til at redesigne udnyttelsen af Nordsøen i en mere grøn retning. Det gør han som gæsteforsker ved Danmarks Tekniske Universitet (DTU), nærmere bestemt forskningscenteret Danish Offshore Technology Centre, som

blandt andet har fokus på at gentænke energiproduktionen fra Nordsøen (sammen med den rent praktiske nedlukning af olie- og gasfelterne, **læs mere side 16-29**).

*David Quirk, forklar lige, hvordan man får energi fra Nordsøen, hvis det ikke er fra olie eller gas?*

“Det korte svar er havvindmøller. Vindenergimæssigt er Nordsøen lige så rig, som Mellemøsten er på olie. Det blæser rigtig meget, samtidig med at vandet ikke er ret dybt, og derfor er det relativt nemt at etablere vindmøllerne sam-

&gt;





menlignet med så mange andre steder i verden. Derudover er der kort vej ind til mange store 'kunder', altså de fem nordsø-nabolande Danmark, Norge, Storbritannien, Holland og Tyskland."

David Quirk har sammen med en række kolleger opstillet et eksempel på effektiv energiudnyttelse og -fordeling i Nordsøen (se fig. 15 s. 34-35). Her spiller havvindmøller en stor rolle, og både faststående og flydende havvindmølleparker fylder godt på kortet. Sammen med en række supplerende energikilder som sol-, bølge- og tidevandsenergi. Til gengæld vil opstillingen kunne levere omkring 65 procent af det nuværende totale energiforbrug i alle fem nabolande allerede fra 2040.

### ENERGITAB OG HENSYN

Der er meget, man skal tage hensyn til, hvis man skal udnytte Nordsøen optimalt til energiproduktion, fortæller han. For eksempel gælder det om at optage så lidt areal som muligt, og at strømkablerne, der fordeler strøm fra havvindmøllerne og ind på land, altid skal være så korte som muligt.

"Kablerne er ekstremt dyre på grund af de mængder kobber, de kræver. Samtidig kræver det energi at føre strømmen gennem kablerne. Så jo længere de er, des mindre af den energi, vindmøllerne laver, når rent faktisk ud i vores elnet, oveni at det kan blive voldsomt dyrt."

Dertil kommer, at man ikke kan etablere faststående/fikserede vindmøller, hvis der er mere end 50 meter dybt. På dybere vand er det nødt til at være vindmøller, der flyder på vandet, og de er dyrere og mere besværlige at lave og etablere. Til gengæld blæser det mere i de områder, hvor vandet er dybere, som f.eks. i den nordlige del af Nordsøen. Derudover skal der også tages hensyn til de store skibsruter, eksisterende installa-

tioner, fiskeri, geologiske forhold og meget mere.

### STABILITET MED VARIERENDE ENERGI

Han uddyber, at det springende punkt i nordsøplanen er, at nabolandene arbejder sammen. Blandt andet ved at deles om energien på en måde, så den sendes derhen, hvor der er mest brug for den. Og omvendt: at man aftager energi der, hvor den er i overskud. En af de helt store udfordringer ved at omstille samfundet til at være mere elektrificeret og baseret på mange forskellige grønne el-kilder som vind og sol er nemlig, at det introducerer en stor grad af uforudsigelighed til elnettet. Sol og vind varierer voldsomt, og elnettet i Danmark – og andre lande – fungerer kun, hvis der er et stabilt flow af strøm.

"Er der for meget strøm, kortsletter systemet, og er der for lidt, virker tingene ikke. Det er et kæmpe arbejde for energiforsyningerne konstant at regulere de forskellige input af strøm, så systemet ikke overbelastes eller underpræsterer. Det bliver meget sværere med de her nye energikilder, som fra time til time kan gå fra at producere ingen strøm til virkelig meget," siger David Quirk.

### ØER AF ENERGI

Problemet ville være mindre, hvis der eksisterede tilpas effektive måder at lagre energien på. Så kunne vi bare hælde den overskydende energi ind i et kæmpe batteri og så tænde for det, når der kom underskud i systemet. Der er dog stadig et stykke vej mod disse perfekte lagringsmetoder ifølge David Quirk. Batterier i storskala kræver enorme, ikke-fornybare mineralske råstoffer og er derfor ifølge ham ikke en virkelig god løsning til storskala-lagring på nuværende tidspunkt. I stedet er det enormt vigtigt at blive bedre til at fordele den strøm, vi producerer nu og her, samtidig med at vi arbejder på at forbedre vores mulighed for at lagre den. For eksempel



DAVID QUIRK

GÆSTEFORSKER VED DANISH OFFSHORE TECHNOLOGY CENTRE VED DANMARKS TEKNISKE UNIVERSITET (DTU)

#### ARBEJDER MED:

Energiomstilling og -planlægning, herunder hvordan aktører i olie- og gasindustrien kan bruge de mange års speciale i såkaldt 'offshore-teknologi' på nye måder, der ikke involverer olie og gas.

#### BAGGRUND:

- Ph.d. ved University of Leicester
- Associated professor ved Oxford Brooks University
- Geofysiker ved flere olie- og gasfirmaer

- Direktør i Energy & Sustainability Centre Isle of Man

- Gæsteforsker ved Danish Offshore Technology Centre

#### HVORFOR SKIFTEDE DU FRA OLIE-INDUSTRIEN TIL ENERGIPLANLÆGNING?

Altså, jeg vidste, fra jeg var otte år gammel, at jeg ville arbejde med olie. Jeg elskede fossiler, og da min far fortalte, at olie kom fra fossiler, var jeg solgt. På et tidspunkt begyndte jeg dog at tænke, at der nok var noget om det her global opvarmning og fossile brændsler, som hang sammen. Så læste jeg op på det,

hvilket klart bekræftede, at vi er på vej mod katastrofen. Det overbeviste mig om, at jeg ville arbejde med den grønne omstilling i stedet, så det har jeg gjort siden.

#### HVILKE EGENSKABER FRA OLIEBRANCHEN KAN DU BRUGE I DIT NUVÆRENDE ARBEJDE?

At jeg er vant til at arbejde med storskala-projekter i Nordsøen, og ved hvor meget der faktisk kan udrettes på fem år, hvis viljen er der. At vide, hvordan offshore-industrien tænker og virker. Jeg ville dog gerne være bedre til matematik og modellering, det er uden tvivl fremtiden.

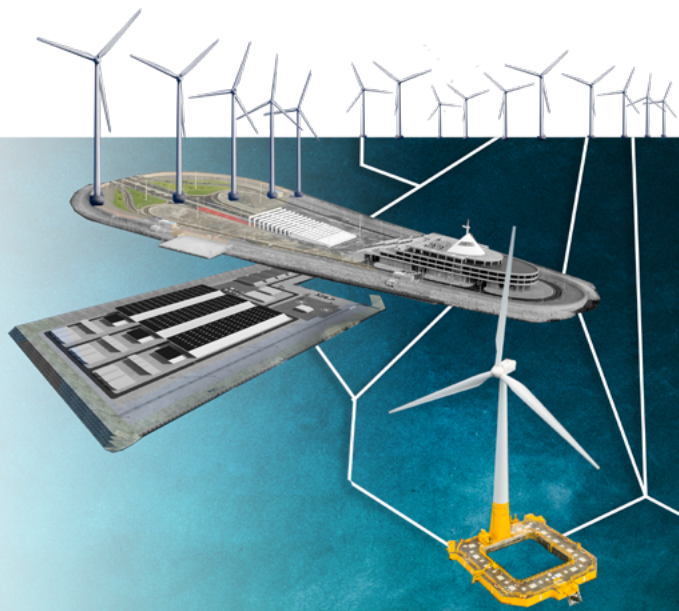
## ENERGIØER PÅ VEJ

### I NORDSØEN I 2030'ERNE

Danmark opfører en kunstig ø i Nordsøen, som kobles til nye havvindmølleparker og forventes opført i midt 2030'erne.

### I ØSTERSØEN 2030

Bornholm skal fungere som knudepunkt for nye havvindmølleparker omkring øen og skal tages i drift inden 2030.



via såkaldte energiøer, som kort sagt er knudepunkter for effektiv produktion, fordeling og lagring af energi. De er også en vigtig del af David Quirk og kollegernes Nordsø-eksempel, og faktisk har Danmark i 2020 planlagt de første af slagsen som det første af nordsølandene. Faktisk som det første land i hele verden (se fig. 15 s. 34-35). Kort fortalt er energiøer egentlig bare en slags samlings- og energifordelingsstation koblet til energiproduktion, typisk store havvindmølleparker. Øerne i sig selv kan være konstruerede øer, flydende platforme eller eksisterende, naturlige øer. Formen er ikke så vigtig, det handler om funktion og placering, forklarer David Quirk:

“Det essentielle er, at øerne gør det muligt at samle energien helt tæt på energikilden og på den mest effektive måde fordele og evt. omforme energien via den kortest mulige længde dyre kabler til det sted og den form, der er mest brug for her og nu,” forklarer forskeren.

Omformning af energi kan for eksempel være, at der laves anlæg på øen, der kan bruge vindmøllernes strøm til at producere brint ( $H_2$ ). Brint kan nemlig fungere som brændsel lidt i stil med gas eller bruges til at fremstille flydende brændstof til biler, fly etc. Fremstillingen kræver kun vand ( $H_2O$ ), som spaltes til ilt ( $O_2$ ) og brint ( $H_2$ ) i en kemisk proces kaldet elektrolyse. Det overordnede princip med at bruge grøn strøm til at drive produktion af alternative og mere lagrings-egnede typer brændstof kaldes ‘Power-to-X’. Ved at omforme strøm til for eksempel brint kan energien enten transporteres til det sted, det skal bruges, lagres på energiøen eller i Nordsøens undergrund. For eksempel er der mange underjordiske saltstrukturer i især den sydlige Nordsø, som egner sig godt til at holde på den flygtige gas. Power-to-X er også en del af planen for de kommende danske energiøer.

### “VI ER I GANG”

David Quirk og holdet har regnet sig frem til, at hvis vi i nordsøabolande arbejder sammen og fordeler strømmen fra

havvindmølleparker via energiøer og kabler på havbunden, vil vi nemt kunne dække 65 procent af energibehovet i både Danmark, Storbritannien, Norge og Holland allerede i 2040.

### Hvordan får vi det til at ske?

“Vi er i gang. Det er klart min opfattelse, at vi er på vej derhen. Her er især Danmark et foregangsland, hvor politikere, firmaer og forskere virkelig gør et stort stykke arbejde for at samarbejde om at få det til at ske. For eksempel med beslutningen om at etablere energiøer i Nordsøen og Østersøen.”

For planen ser rent faktisk ud til at være på vej til at blive virkelighed. Mens bomber og granater sprængtes i Ukraine i forår og sommer 2022, og Rusland i forbindelse med konflikten skruede ned for den russiske gasleverance til Europa, gik både nordsølandene og østersølandene sammen om kæmpe opskaleringer af grøn energi fra begge havområder. I maj indgik nordsøaboerne Danmark, Tyskland, Holland og Belgien en aftale om at tidobles kapaciteten for havvind i Nordsøen til mindst 150 gigawatt frem mod 2050. Det vil i så fald kunne forsyne omkring halvdelen af indbyggerne i hele EU med strøm. Hvilket faktisk er endnu bedre end David Quirks elers optimistiske udspil. Omend ti år længere ude i fremtiden. “Forandringens vinde blæser,” sagde formanden for EU-Kommissionen, Ursula von der Leyen, meget passende et par måneder senere på et pressemøde for en lignende aftale for Østersøen (kaldet Marienborg-erklæringen). Den 30. august 2022 blev alle østersøaboerne undtagen Rusland (som ikke var inviteret på grund af Ukraine-konflikten) nemlig enige om at syvdobles mængden af vindenergi fra Østersøen frem mod 2030. Det vil sige, at der i 2030 skal kunne produceres 19,6 gigawatt, hvilket svarer til at forsyne ca. 20 mio. husstande med strøm. Dermed skal der opføres ca. 1.700 nye havvindmøller fordelt rundt i Østersøen og findes nye og bedre måder at deles effektivt om den energi, de producerer. Netop fordelingen af energien mellem landene var en vigtig del af begge aftaler. •



# NY ENERGI FRA NORDSØEN

Sådan her kunne fremtidens fossilfri energiforsyning fra nordsøen se ud ifølge David Quirk, se foregående sider. Her kan omkring 65 % af det totale energiforbrug dækkes i alle nordsølandene i 2040.

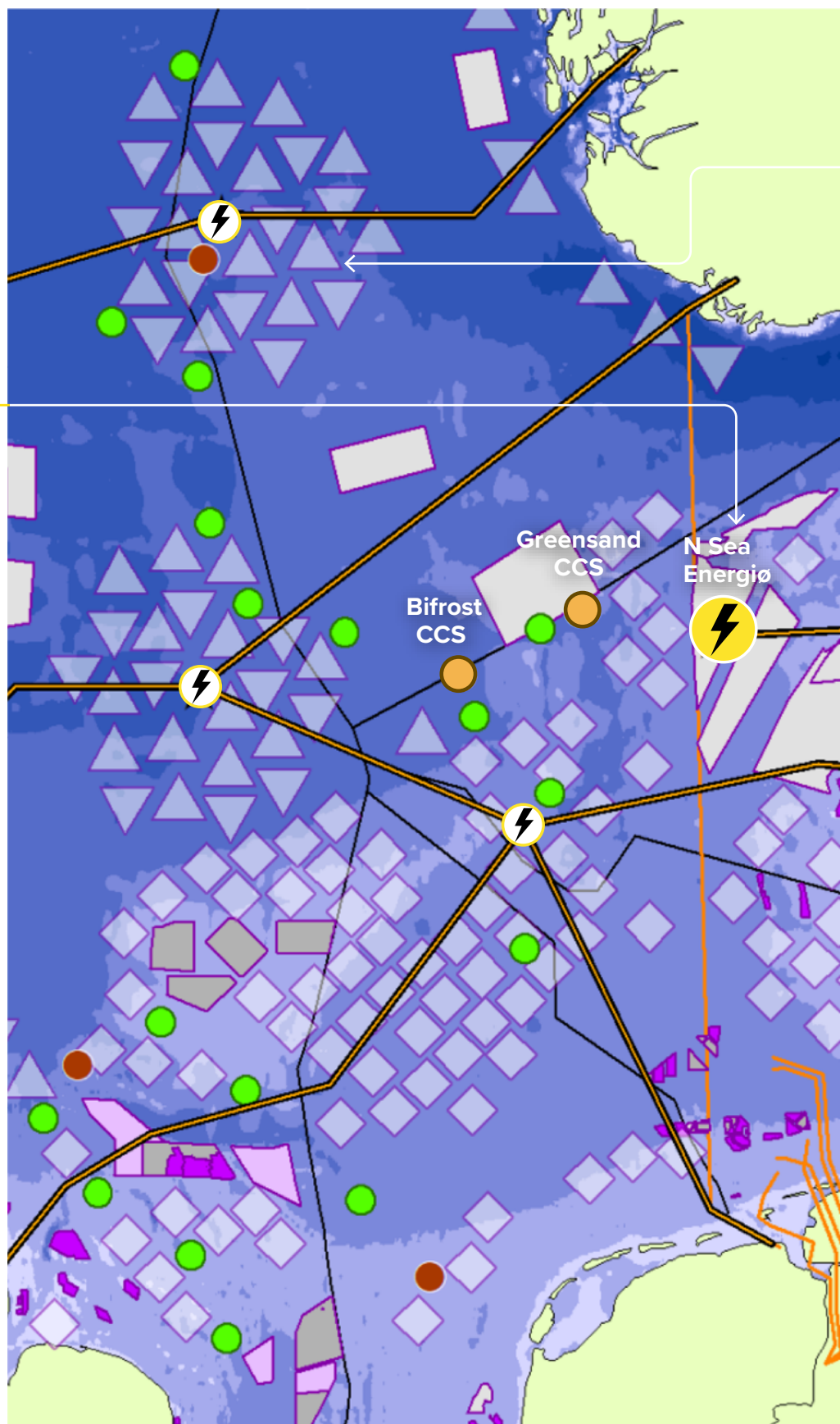
## ENERGIØ #1

Øen i Nordsøen skal i begyndelsen kunne dække cirka halvdelen af det samlede danske elforbrug i midt-2030'erne (3 millioner husstande eller 3 gigawatt) med en planlagt udbygning til over det tredobbelte. Status i sommeren 2022 er, at der arbejdes på at finde det bedste område i Nordsøen, hvor opførelsen af en kunstig ø vil forstyrre miljøet mindst muligt. Derudover arbejdes der på aftaler med vores nabolande om fordelingen af den grønne strøm.

## PLANEN OG VIRKELIGHEDEN

Planen om energiøer og mere vindenergi kommer til at blive virkelighed. I hvert fald har Danmark og nordsønaboerne indgået aftaler om at få mere vindenergi ud af Nordsøen og også deles mere effektivt om den, hvilket kortet her netop lægger op til. I 2020 blev det vedtaget med regeringens Klimaaftale, at Danmark skal bygge verdens første energiøer. En kunstig ø 80 kilometer ude i Nordsøen og en ø i Østersøen (hvor Bornholm udgør knudepunktet). Begge øer skal kobles op til nye, store havvindmølleparker, hvis strøm fordeles eller lagres via øerne.

I 2022 blev Danmark, Tyskland, Holland og Belgien desuden enige om sammen at tidoble vindenergien fra Nordsøen hen mod 2050 og fordele den effektivt mellem sig. Det vil på papiret og under de optimale forhold kunne give energi til ca. halvdelen af Europas husstande, hvilket i princippet er endnu bedre end planen her på siden dog ti år langsommere.



## FORSTYRRES HAVMILJØET IKKE?

Hvis man fylder hele Nordsøen med havvindmøller og energiøer er det klart, at det har en vis konsekvens for bl.a. økosystemerne i havet. David Quirks model for Nordsøens grønne energisystem medregner på nuværende tidspunkt ikke hensyn til miljøet, men udelukkende den mest optimale energiforsyning. Han fortæller selv, at det bør være en prioritet at forsøge at udnytte strukturer som vindmøller og evt. gamle boreplatforme til kunstige rev, tangskove eller andet, der kan virke positivt på miljøet.

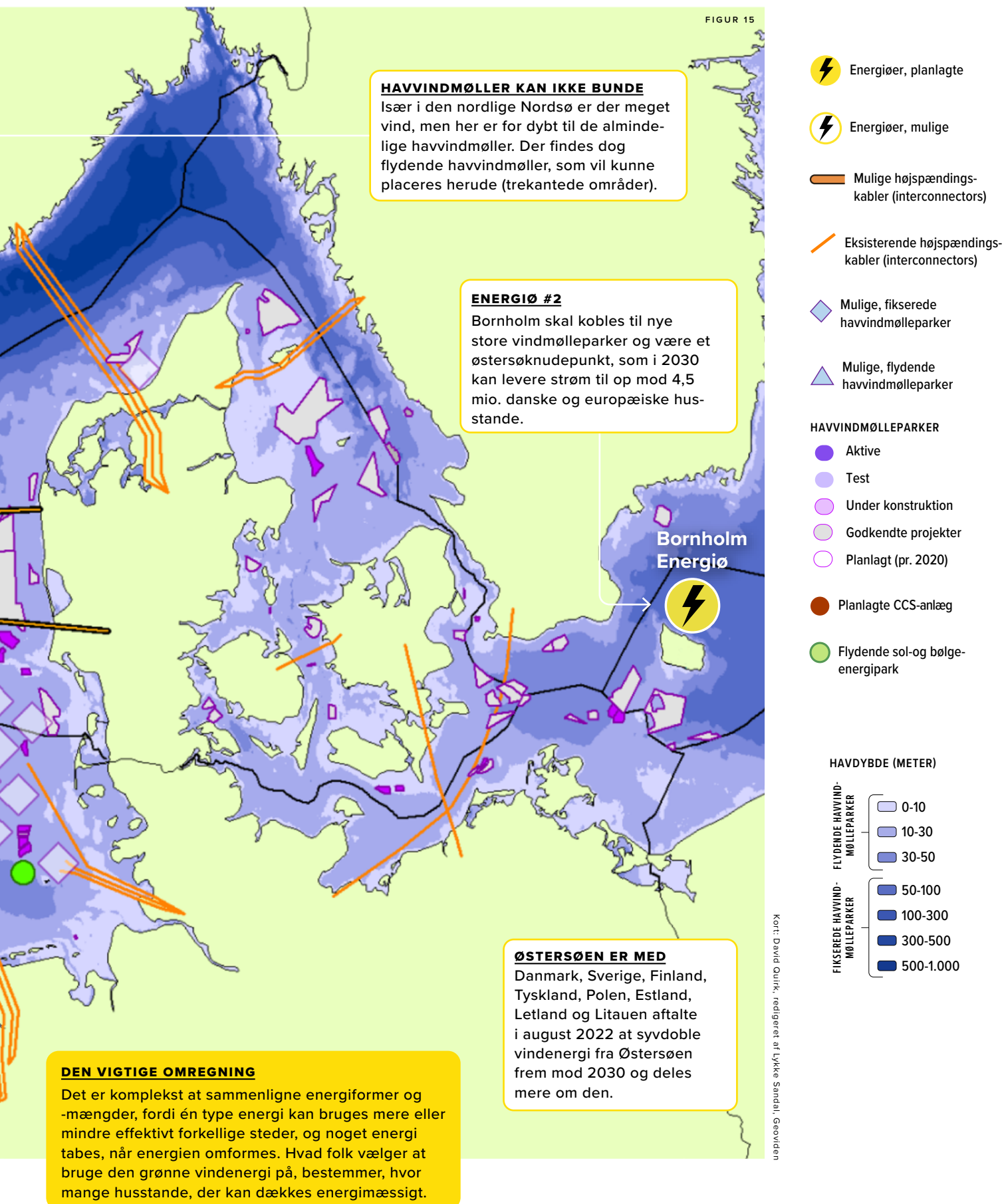






Foto: Signe Hillebrup Larsen, GEUS



**GEUS**

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  
www.geus.dk



INSTITUT FOR GEOVIDENSKAB  
OG NATURFORVALTNING (IGN)  
Øster Voldgade 10  
1350 København K  
Tlf: 35 32 25 00  
E-mail: ign@ign.ku.dk  
www.ign.ku.dk

STATENS NATURHISTORISKE  
MUSEUM (SNM)  
Øster Voldgade 5-7  
1350 København K  
35 32 23 45  
E-mail: snm@snm.ku.dk  
www.snm.ku.dk



AARHUS UNIVERSITET  
INSTITUT FOR GEOSCIENCE (IG)  
AARHUS UNIVERSITET  
Høegh-Guldbergs Gade 2  
B.1670  
8000 Aarhus C  
Tlf: 89 42 94 00  
E-mail: geologi@au.dk  
www.geo.au.dk

## NÆSTE GEOVIDEN: VI ARBEJDER MED GEOVIDENSKAB

Hvad kan man egentlig arbejde med indenfor geologi og geografi? Er det rigtigt, at man bl.a. kan arbejde med klimaløsninger og grøn omstilling? Og hvordan ser en typisk hverdag ud? Årets sidste Geoviden er et karrierenummer, hvor du kan møde en masse seje mennesker, der har det til fælles, at de arbejder med geovidenskab.

# geo viden

**Udgiver:** Geocenter Danmark

**Ansvarshavende:**  
Mette Buck Jensen, GEUS

**Redaktør og skribent:**  
Johanne Uhrenholt Kusnitzoff, GEUS

**Design:** Lykke Sandal, GEUS

**Korrektur:** Caroline Dea Rutter, GEUS

**Tryk:** Strandbygaard

**Forsideillustration:** Lykke Sandal

**Eftertryk:** Tilladt med kildeangivelse,  
videresalg ikke tilladt

**Kontakt:** geoviden@geus.dk  
www.geoviden.dk

ISSN: 1604-6935 (papir)  
ISSN: 1604-8172 (elektronisk)

## GEOCENTER DANMARK

Geoviden udgives af Geocenter Danmark og er målrettet undervisningen i gymnasierne. Bladet udkommer tre gange om året. Abonnement er gratis og tegnes på geoviden.dk. Her kan man også læse bladet og finde ekstrap materiale såsom video.

Geocenter Danmark, der udgiver Geoviden, er et samarbejde mellem De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (GEUS), Institut for Geoscience ved Aarhus Universitet samt Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning og Statens Naturhistoriske Museum, begge ved Københavns Universitet. Geocenter Danmark er et center for geovidenskabelig forskning, uddannelse, rådgivning, innovation og formidling på højt internationalt niveau.