

# Geofysiske undersøgelser i Skagerrak – med to eksempler

JESPER MØRK SMIDT



Smidt, J. M.: Geofysiske undersøgelser i Skagerrak – med to eksempler. *Dansk geol. Foren., Årsskrift for 1981*, side 165–169, København, 15. juli 1982.

Geophysical Investigations in the Skagerrak – with two examples.

The investigations as yet are briefly reviewed. The main features of the Danish Skagerrak are pointed out: The Fjerritslev Fault and a basement high north of Hirtshals (North Jutland).

A seismic section crossing the fault is presented, as well as a Bouguer-anomaly map showing anomalies related to salt-domes, the fault and the basement high. The last feature possibly represents an extension of the Permian intrusives of Larvik (Oslo-fjord, Norway).

J. M. Smidt, Københavns Universitets Institut for Geofysik, Haraldsgade 6, DK-2200 København N. 20. januar 1982.

Denne artikel er et uddrag af forfatterens foredrag på årsmødet den 7. november 1981 i Dansk geologisk Forening, »Seismisk kortlægning i den danske del af Skagerrak«. Til grund ligger en endnu ikke afsluttet specialeafhandling (Smidt, 1982).

Det danske Skagerrak ligger i Det dansk-norske Bassin, hvis strukturelle hovedtræk fremgår af Baartman's kort, »Structural Outline of Denmark« i Rasmussen (1978: 8). Nedenfor vil først de hidtil foretagne undersøgelser blive gennemgået summarisk, derefter eksemplerne: en seismisk sektion og et Bouguer-anomali kort.

## Boringer, geologiske undersøgelser

Den sydøstlige afgrænsning af Skagerrak er omkranset af adskillige landboringer, Thisted-1, Fjerritslev-1 og -2, Vedsted-1, Haldager-1, Børglum-1, Flyvbjerg-1 og Skagen-2, der alle når endelig dybde i mellem/nedre Mesozoiske sedimenter, Skagen-2 (ned til 618 m under havniveau) dog med antydning af at grundfjeldsdybde er nået (Sorgenfrei & Buch 1964, Rasmussen 1972 og 1978). I Frederikshavn-1 nåedes i en dybde af 1276 m (under havniveau) Præcambrisk gnejs (Sorgenfrei & Buch 1964). I selve Skagerrak når den enlige boring Dansk Nordsø J-1 med en endelig dybde på 1950 m under havniveau kun ned i Øvre Triassiske sedimenter (Rasmussen 1978). Summariske data fra disse (og andre) fri-

givne boringer er samlet i *Well Data Summary Sheets* (DGU, 1981a og 1981b).

Arbejdet med ovennævnte boringer har givet sig udslag i en lang række publikationer, der ikke behandles her; dog skal Larsen (1966) og Bertelsen (1980) nævnes, den sidste som referenc kilde. Ziegler (1978) og Sorgenfrei (1969) beskriver i større sammenhæng Nordsøen og herunder Skagerrak.

Geologisk prøvetagning i Skagerrak begrænser sig udover J-1 boringen til et bundskrab af en basaltisk blok fra positionen 58°05'N 9°50'E (Noe-Nygaard 1967).

## Geofysiske undersøgelser

*Batymetriske* undersøgelser (af havbundsdybden) i Skagerrak er beskrevet af Holtedahll (1940 og 1963).

Hvad *gravimetrisk* undersøgelser angår, beskriver Collette (1960) det hollandske net af gravimetrisk absolut-målinger i Nordsøen i årene 1955–57, indbefattende Skagerrak.

Geodætisk Instituts omfattende opmålingsarbejde har ført frem til udgivelsen af et Bouguer-anomali kort dækkende hele det danske sokkelområde (Andersen 1978), hvortil henvises for yderligere referencer. Uafhængigt heraf opmålte Gulf Oil Company of Denmark i årene 1938–40 og 1946–48 hele det danske landområde på nær Bornholm, hvilket i 1949 førte til udarbejdelse

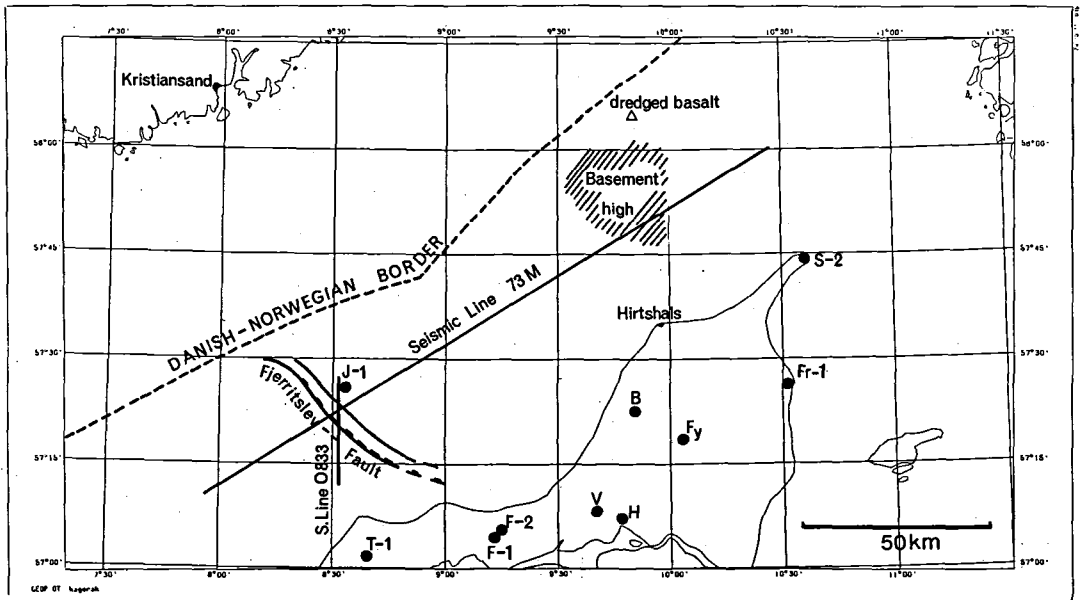


Fig. 1. Lokaltetskort visende de i artiklen omtalte fænomener og undersøgelser – for forkortelser af borer, se den engelsksprogede figurtæks (grundkort: Geodætisk Institut).

Location-map, showing the Fjerritslev Fault, the basement high north of Hirtshals and the site of a dredged basalt (Noe-Nygaard 1967). The section of the seismic line 73M has been presented by Bertelsen (1980: 11) (base map: Danish Geodetic Institute). The wells indicated are abbreviated as follows:

J-1	Dansk Nordso	J-1	H	Haldager-1
T-1	Thisted-1		B	Børglum-1
F-1	Fjerritslev-1		Fy	Flyvbjerg-1
F-2	Fjerritslev-2		S-2	Skagen-2
V	Vedsted-1		Fr-1	Frederikshavn-1

af Bouguer-anomali kort såvel som residual-anomali kort, desværre kun udgivet i lille skala (Sorgenfrei & Buch 1964, planche 14 og 15). Til grund for det i denne artikel viste Bouguer-anomali kort indgår de for Andersen (1978) tilgængelige samt et mindre antal nyere målinger, alle stillet til rådighed for forfatteren af Geodætisk Institut.

*Aeromagnetisk* opmåling af Danmark udførtes 1963 for Dansk Undergrunds Consortium (DUC) (Rasmussen 1972), men er desværre aldrig blevet publiceret. Aeromagnetiske målinger, især i norsk Skagerrak, er blandt andre behandlet af Åm (1973); siden er hele det norske Skagerrak i 1974–75 blevet dækket af nye målinger, som findes i kortform (Norges Geol. Unders. 1976).

*Dybderefraktionsseismiske* opmålinger i Jylland og Skagerrak blev udført i 60'erne i tysk-dansk-norsk regi og er beskrevet bl.a. i Weigel et al. (1970).

*Ikke-kommerciel refleksionsseismik* i form af dybseismik er beskrevet af Ariç (1966), *lægseismik* (fra engelsk: »shallow seismics») af Sellevoll & Aalstad (1971) og Flodén (1973).

Dele af ovennævnte geofysiske undersøgelser indgår i det såkaldte »Skagerrak-projekt«, se Anders Kvale's introduktion i Hirschleber et al.

(1966: 5–7) og oversigten over publikationerne i Weigel et al. (1970); desuden indgik Sellevoll & Aalstad (1971) og Åm (1973).

*Industriel refleksionsseismik* (i Skagerrak kun som dybseismik) er fra 1963 udført for DUC i Skagerrak såvel som i de øvrige danske farvande, og f.eks. beskrevet af Baartman (Baartman et al. 1975), med et eksempel fra Skagerrak, linien 73 M i Bertelsen (1980: 11).

#### To eksempler

De mest fremtrædende enkelttræk af det danske Skagerrak er den såkaldte »Fjerritslev-forkastning«, der strækker sig mod nordvest fra Jambø-bugten nær Fjerritslev-boringerne, og grundfjeldshøjen nord for Hirtshals.

Den viste *seismiske sektion* »0833« fra 1969 (fig. 2.) krydser Fjerritslev-forkastningen lidt syd for J-1 boringen, der er angivet på den nordlige side af sektionen. Den mest iøjnefaldende detalje på sektionen er forkastningen med dens nedfor-

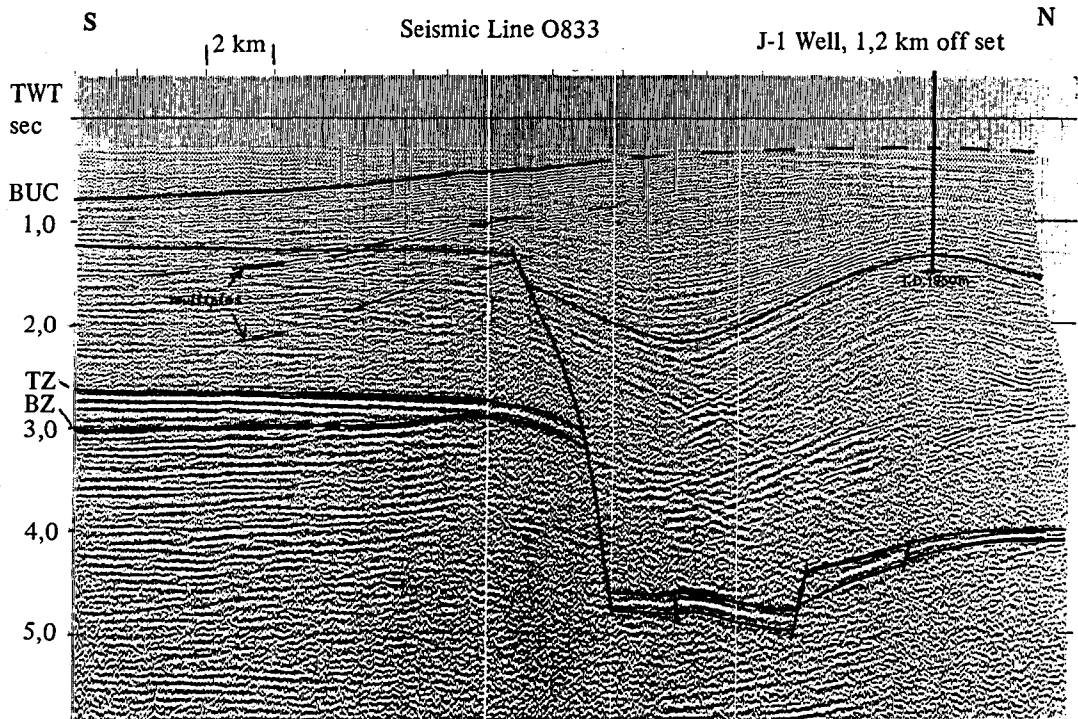


Fig. 2. Den seismiske sektion »0833«. De for de seismiske horisonter anvendte forkortelser er følgende: BUC top af øvre kretasisk kalk; TT top af Trias; TZ top af Zechstein og BZ basis af Zechstein; »multiples« angiver »støj« i form af multiple refleksioner (fremkommer ved at den akustiske energi bevæger sig flere gange (her to og tre) mellem (hav)overfladen og en kraftig reflektor (her basis af øvre kretasisk kalk).

The seismic section »0833« (from 1969), showing the Fjerritslev Fault, originally with the NW side down-through, but apparently reversed later; this is obscured, however, by the Lisa-structure (tested by the J-1 well), which probably is due to flowage of triassic salt. »Noise« in the form of multiples is indicated.

Abbreviations used are: BUC base upper cretaceous chalk; TT top triassic; TZ top zechstein and BZ base zechstein.

kastning på over 3 km i Zechstein-niveau af den nordøstlige side (dybden til det på sektionen dybest beliggende Zechstein-neveau er over 10 km). Senere, efter Nedre Kridt, er forkastningen vendt, reverteret, hvilket ses af, at reflektoren fra bunden af Øvre Kridt kalksten stiger mod nord. Denne tendens skjules i nogen grad af bevægelserne i Lisa-strukturen, hvorpå J-1 boringen er foretaget. Denne struktur skyldes formentlig flydning af triassisk salt, formodentlig begyndt i Kridt. Syd for forkastningen ses udkilingen af en Zechstein-saltpude.

På det viste (håndkonturerede) Bouguer-anomali kort er det mest slående nok »vulkanen« syd for Kristianssand, med en positiv anomali på omkring 90 milligal – den har da også været behandlet af adskillige (Sharma 1970, Sellevoll & Aalstad 1971 og Åm 1973).

I det danske Skagerrak viser de to ovenfor omtalte saltstrukturer sig tydeligt i form af nega-

tive anomalier, ligesom Thisted-strukturen gør det (Hansen & Håkansson 1980: 6–7). Fjerritslev-forkastningen følger groft sagt 0-milligal konturen fra Fjerritslev boringerne til vest-nord-vest for J-1 boringen, hvorfra den strækker sig mod vest. Den nedforkastede nordøstlige side har således alle steder lavere Bouguer-anomali værdier (i overensstemmelse med dens større sedimentmægtighed) end den sydvestlige side.

Grundfjeldshøjen nord for Hirtshals skæres af den seismiske linie 73 M (Bertelsen 1980: 11). På Bouguer-anomali kortet falder den sammen med den positive anomali på over 10 milligal, der strækker sig nordover fra omkring 57°40'N 10°E. Den har muligvis forbindelse mod nord til de Permiske intrusiver i Larvik-området i Oslo-fjorden, som foreslået af Sorgenfrei (1969: 188) og Flodén (1973: 95). Tilsvarende kan den negative anomali, der strækker sig østover fra Skagen-2 boringen, formodes at have forbindelse med Bo-

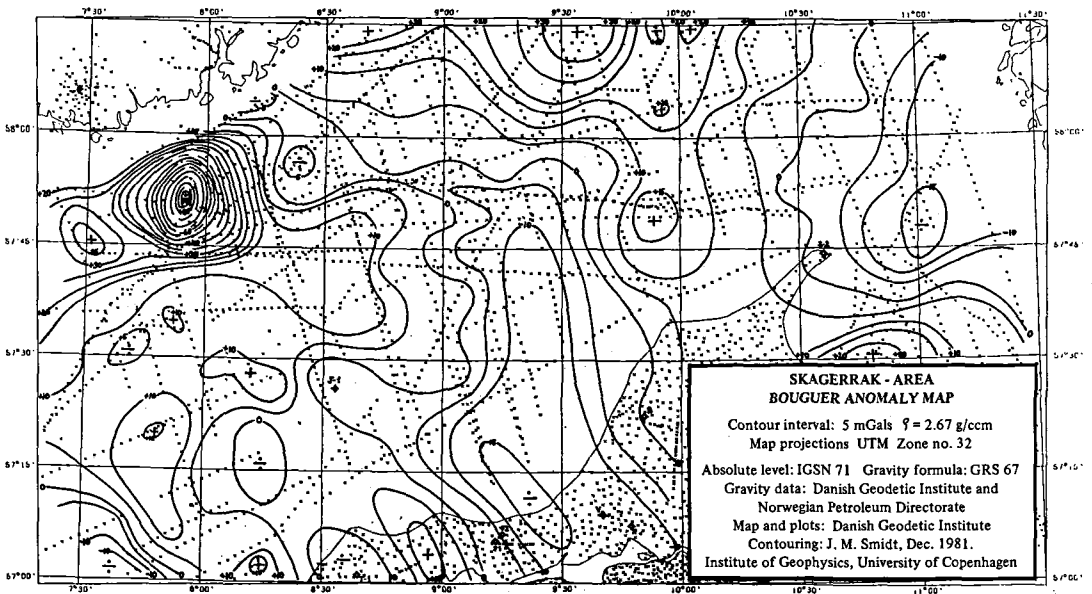


Fig. 3. Bouguer-anomali kort; x'erne angiver tyngdemålinger. »+«, »÷« angiver høj henholdsvis lav relativ anomali. (Grundkort og plotning: Geodætisk Institut).

Bouguer. anomaly map; x'es indicate gravity measurements. »+«, »÷« indicate high and low relative anomalies respectively. (Base map and plots: Danish Geodetic Institute).

hus-graniterne i Sverige, ligeledes som foreslået af Sorgenfrei (1969: 188) og Flodén (1973: 93). Det skal endelig bemærkes, at den positive anomali på 20 milligal omkring positionen 58°10'N 9°55'E ligger nær den formodede basaltiske dyke på positionen 58°05'N 9°50'E (Noe-Nygaard 1967), formentlig af Tertiær oprindelse (Flodén 1973: 96).

### Tak

Forfatteren ønsker at takke Danmarks Geologiske Undersøgelse, der stillede den seismiske sektion til rådighed, og Geodætisk Institut, der stillede kort, plots og Bouguer-anomali data til rådighed.

### Litteratur

- Andersen, O. B. 1978: Bouguer Anomaly Map of Denmark and surrounding Waters. *Geodætisk Inst. Skrifter* 3. Rk. Bd. XLIV: 1-8, København.
- Aric, K. 1968: Reflexionsseismische Messungen im Skagerrak. *Zeitschrift für Geophysik*, Bd. 34: 223-226.
- Baartman, J. C. & O. B. Christensen, 1975: Contributions to the interpretation of the Fennoscandian Border Zone. *Dann. geol. Unders.* rk. 2, 102: 47 p.
- Bertelsen, F. 1980: Lithostratigraphy and depositional history of the Danish Triassic. *Dann. geol. Unders.* Ser. B, 4: 59 p.
- Collette, B. J. 1960: The Gravity Field of the North Sea. in: *Gravity Expeditions 1948-1958*, Vol. 5: 47-96. Publication of the Netherlands Geodetic Commission, Delft.
- DGU, 1981a: *Well Data Summary Sheets*, Vol. 1. *Dann. geol. Unders.*
- DGU, 1981b: *Well Data Summary Sheets*, Vol. 2. *Dann. geol. Unders.*
- Flodén, T. 1973: Notes on the bedrock of the eastern Skagerrak with remarks on the Pleistocene deposits. *Stockholm Contributions in Geology*, Vol. XXIV: 79-102.
- Hansen, J. M. & E. Håkansson, 1980: Thistedstrukturens geologi - et »neotektonisk« skoleeksempel. *Dansk geol. Foren., Årsskrift for 1979*: 1-9.
- Hirschleber, H., J. Hjelme & M. Sellevoll, 1966: A Refraction Profile through the Northern Jutland. *Geodætisk Inst., Medd.* nr. 41: 35 p, København.
- Holtedahl, O. 1940: The submarine relief of the Norwegian coast. *Det Norske Vid. Akad.* Oslo, 43 p.
- Holtedahl, O. 1963: Echo-soundings in the Skagerrak. in: *Arbok 1962, Norges Geol. Unders.* 223: 139-160, Oslo.
- Larsen, G. 1966: Rhaetic-Jurassic-Lower Cretaceous Sediments in the Danish Embayment (A Heavy-Mineral Study). *Dann. geol. Unders.* rk. 2, 91: 128 p.
- Noe-Nygaard, A. 1967: Dredged Basalt from Skagerrak. *Meddr dansk geol. Foren.* 17: 285-287.
- Norges Geol. Unders. 1976: *Statens Oljedirektorat, Magnetiske Flymålinger, Kontinentalsockelen*. (Kortblade over magnetisk totalfelt, skala 1: 250.000) Norges Geol. Unders. Trondheim.
- Rasmusen, L. B. 1972: Oversigt over dybdeboringerne på dansk landområde 1965-68. *Dansk geol. Foren., Årsskrift for 1971*: 41-48.
- Rasmussen, L. B. 1978: Geological Aspects of the Danish North Sea Sector, with a report on the wells Dansk Nordsø E-1, E-2, F-1, G-1, H-1, I-1, J-1 and K-1. *Dann. geol. Unders.* rk. 3, 44: 85 p.
- Sellevold, M. A. & I. Aalstad, 1971: Magnetic measurements and seismic profiling in the Skagerrak. *Marine Geophys. Research* 1: 284-302.
- Sharma, P. V. 1970: Geophysical evidence for a buried volcanic

- mount in the Skagerrak. *Meddr dansk geol. Foren* 19: 368–377.
- Smidt, J.M. 1982 in prep: *Interpretation of Seismic Reflection Data from the Danish Skagerrak*. Thesis, Institute of Geophysics, University of Copenhagen.
- Sorgenfrei, Th. 1969: Geological perspectives in the North Sea area. *Meddr dansk geol. Foren*. 19: 160–196.
- Sorgenfrei, Th. & A. Buch, 1964: Deep tests in Denmark 1935–1959. *Dann. geol. Unders. rk. 3*, 36: 146 p.
- Weigel, W., J. Hjelme & M. Sellevoll, 1970: A refraction profile through the Skagerrak from northern Jutland to southern Norway. *Geodætisk Inst. Medd.* nr. 45: 28 p.
- Ziegler, P. A. 1978: North-Western Europe: tectonics and basin development. *Geologie in Mijnbouw*, Vol. 57(4): 589–626.
- Åm, K. 1973: Geophysical indications of Permian and Tertiary igneous activity in the Skagerrak. *Norges Geol. Unders.* 287: 1–25.