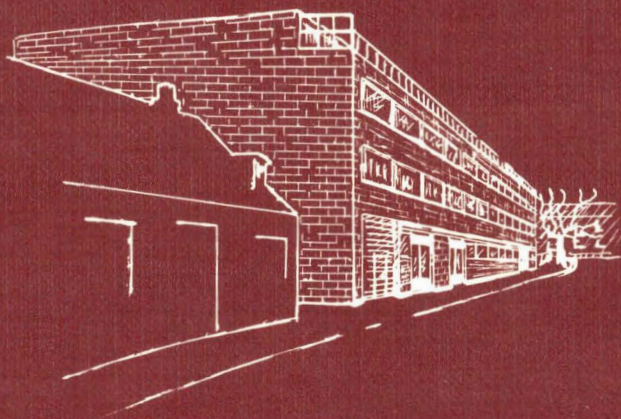


Danmarks Geologiske Undersøgelse  
*Geological Survey of Denmark . Yearbook 1975*

---

# Årbog 1975



---

I kommission hos C. A. Reitzels Forlag  
København 1976

Danmarks Geologiske Undersøgelse

*Geological Survey of Denmark . Yearbook 1975*

---

# Årbog 1975

---

I kommission hos C. A. Reitzels Forlag

København 1976



D. G. U. Årbog 1975  
er sat med Linotype Times  
og trykt i offset i 1200 eksemplarer  
hos Andelsbogtrykkeriet i Odense.  
Bogen er trykt på Thai-Cote, 115 g  
fra a/s De forenede Papirfabriker.  
ISBN 87-421-0700-8

*Redaktion:*

Leif Banke Rasmussen  
Olaf Michelsen

Date of publication: 1976-10-01

# Contents

## Indhold

Dinesen, Birthe: Geochemical properties of the marine Younger Miocene at Gram, SW Jutland .....	5
Villumsen, Arne: Recent iron-rich sediments in the Skjernå river system and in Ringkøbing fjord. (Iron pollution of the river Skjernå and Ringkøbing fjord, Western Jutland) .....	31
Kristiansen, Henning: Hydrochemistry of the drained Skjernå delta. (Iron pollution of the river Skjernå and Ringkøbing fjord, Western Jutland) .....	45
Jacobsen, Jens: Mobilization, transportation, and sedimentation of weathering products from the abandoned brown-coal pits. (Iron pollution of the river Skjernå and Ringkøbing fjord, Western Jutland) .....	57
Petersen, Kaj Strand: Om Limfjordens postglaciale marine udvikling og niveauforhold, belyst ved mollusk-faunaen og C-14 dateringer . . . .	75
Michelsen, Olaf: Preliminary report on the Jurassic lithostratigraphic nomenclature in the Danish North Sea area .....	105
Michelsen, Olaf: Kortfattet oversigt over de geologiske forhold i den danske del af Nordsøen .....	117
Heller, Erik: Danmarks råstofproduktion i 1974 – opgjort ud fra Råstoflovens retningslinier .....	133
Berthelsen, Ole & Rasmussen, Leif Banke: Hilmar Ødum. 26.1.1900–3.4.1975 .....	138
Publication issued 1975 .....	159



# Geochemical properties of the marine Younger Miocene at Gram, SW Jutland

Birthe Dinesen

Dinesen, Birthe: Geochemical properties of the marine Younger Miocene at Gram, SW Jutland. *Danm. geol. Unders., Årbog 1975*, pp. 5–29 pls. 1–3. København, 1. september 1976.

The marine Younger Miocene at Gram, SW Jutland, has been examined chemically. The Hodde Clay may be subdivided on the basis of a high, but varying content of organic matter. In the Gram Clay, carbonate, manganese and phosphorus are enriched in beds with clay ironstone concretions. The composition of the sand fraction indicates that the sequence has been subject to diagenetic processes. The Hodde Clay may have been deposited in an estuarine environment with a periodically strong sedimentation of allochthonous terrestrial humic matter. The Glauconite Clay and the basal goethite-rich bed of the Gram Clay indicate an agitated and oxygenated environment, which changes to less agitated and more marine conditions during deposition of the Gram Clay.

Birthe Dinesen, Instituttet for teknisk Geologi,  
Danmarks tekniske Højskole, DK-2800 Lyngby, Denmark.

The marine Younger Miocene in Denmark has been encountered in the central and western part of Jutland as shown in fig. 1. The sediments consist of clays which have been divided into the Hodde Formation (Middle Miocene) comprising Hodde Clay with a basal layer of quartz gravel, and the Gram Formation (Upper Miocene) comprising Glauconite Clay overlain by Gram Clay. In the most southwesterly part of the area the Gram Clay is overlain by more sandy sediments, which are thought to be of Upper Miocene age (Rasmussen 1973).

The marine sequence has been studied biostratigraphically on the basis of the molluscs by Rasmussen (1956, 1961, 1966 and 1973) and on the basis of the foraminifera by Kristoffersen (1972, 1973 and 1974). Sedimentological and paleobotanical investigations on sediments from the limnic-marine border zone in the Søby-Fasterholt area (fig. 1) have been described by Larsen and Friis (1973), Koch et al. (1973) and Christensen (1975). Trace fossils from the base of the Hodde Formation have been studied by Asgaard and Bromley (1974).

The clays have been deposited in the North Sea Basin, whose shore zone

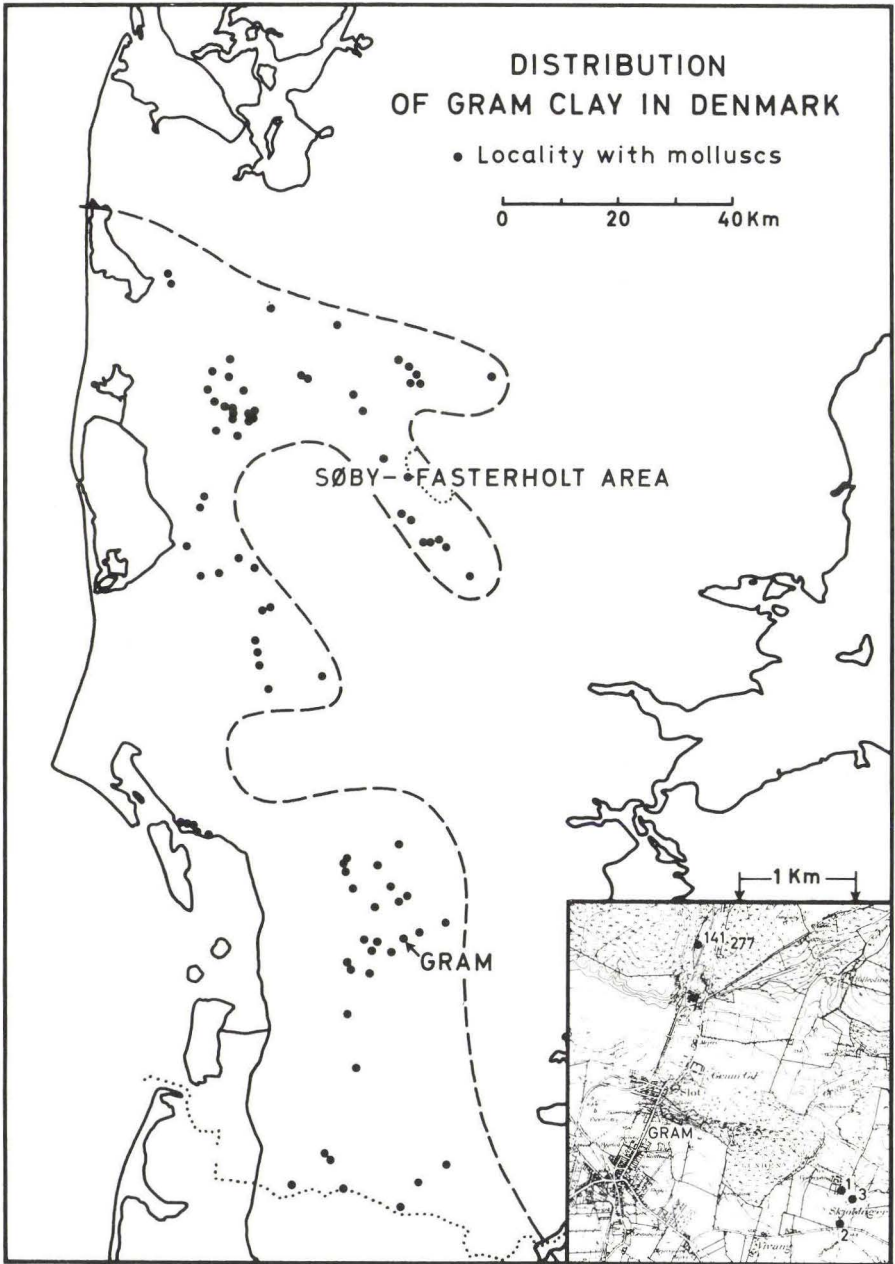


Fig. 1. Locality map and distribution of the marine Younger Miocene (after Rasmussen 1966).



has oscillated over parts of Jutland during Miocene time. The sea has been bordered by widespread low swampy areas with occasional formation of brown coal. In the Søby-Fasterholt area, the Hodde Clay rests transgressively on deltaic sands and is thought to represent a brackish lagoon facies, while the Gram Clay is attributed to a more marine environment (Koch et al. 1973).

The present investigation is based on material from the Gram locality (fig. 1), where 3 borings were drilled in 1968 as part of a survey for Mica Clay carried out by the Institute for Applied Geology. The borings have been examined chemically by the author, while foraminiferal analyses have been performed by Nyhuus Kristoffersen, Geological Survey of Denmark. Because the fossils are rather badly preserved, a neighbouring boring, DGU File No. 141.277 (Rasmussen 1966), has been included in the chemical examination. Results of the chemical investigation are presented here, while the foraminiferal analyses will be published later.

## The sediments

The sequence penetrated by the borings is shown on the borehole logs, plates 1–3. The Miocene clays consist of brownish black, carbonaceous, shaly Hodde Clay, which is overlain by dark brown, slightly greenish, sandy, glauconitic clay (Glauconite Clay), this being further overlain by greyish brown, slightly sandy Gram Clay. They are covered by a few meters of Quaternary deposits and are in boring No. 1 underlain by at least 7 meters of micaceous sand and gravel, rich in quartz. The complete log of boring No. 141.277 has been given by Rasmussen (1966), pp. 146–147.

A general description of the clays is given in the Lithology section on plates 1–3. In addition to the larger concretions shown on the logs, smaller fragments have been found in the sand fraction as described below. According to preliminary X-ray determinations, the larger concretions consist of siderite, in boring No. 1 (3,65–4,00 m) of siderite and calcite.

The sand fraction is in general composed of the following components:

Detrital minerals: muscovite and quartz as small angular grains and larger, well rounded, often milky grains.

Pellets of different size, shape and colour.

Stems and slaglike fragments of pyrite, often with inclusions of detrital minerals and pellets.

Crystals of gypsum, often coated with calcium carbonate.

Porous fragments of calcium carbonate with inclusions of detrital minerals.

Small fragments of concretions containing calcium and iron carbonate, partly oxidized, with inclusions of detrital minerals and pellets.  
Fragments of limonite.

Gypsum and fragments of carbonates and limonite are found in varying amounts throughout the sequence. On the basis of content of detrital minerals and different types of pellets, the sequence can, however, be divided into the five lithozones shown on the plates. These are described below.

I. (Lower Hodde Clay). Detrital minerals and dark green pellets. Quartz as dominating component at the basal layers, but of decreasing importance upwards. Pyrite of minor importance.

II. (Upper Hodde Clay). Dark green and light green pellets, both ellipsoidal and irregularly shaped. Minor amounts of grey and brown pellets. Stems and slags of pyrite. Often high amounts of limonite fragments and gypsum crystals coated by limonite. Detrital minerals, especially muscovite.

III. (Glauconite Clay). Extreme dominance of dark green pellets, some ellipsoidal, but mostly irregularly shaped with shrinkage fractures. Minor amounts of light green ellipsoidal pellets and minute amounts of brown pellets. Almost no pyrite, but crystals of gypsum and fragments of limonite. Detrital minerals and concretions of minor importance.

IV. (Lower Gram Clay). Dominance of brown, glistening pellets and of light brown, more irregularly shaped pellets with shrinkage fractures. A few grey, but almost no green pellets. Pyrite and detrital minerals of minor importance. Many small concretions.

V. (Upper Gram Clay). Pellets dominated by black and greyish micro-ellipsoids. Light greenish, more irregularly shaped pellets with shrinkage fractures are found in the lowermost meter of the section. Smaller irregularly shaped grey clay (?) aggregates. Pyrite as stems and slaglike fragments. Muscovite and, especially, quartz of increasing dominance upwards. Many small concretions.

According to X-ray diffraction data, the brown glistening pellets (lithozone IV) have been identified as goethite. The black microellipsoids have given an unspecific pattern. They are apparently composed of a mixture of de-



graded clay minerals, and not of pyrite as those described by Valeton (1959). The different greyish-greenish pellets are thought to represent glauconites of different composition as found by Valeton (1958) and by Giresse and Odin (1973).

## Analytical methods

*Carbonate.* Carbonate is determined by liberating carbon dioxide through boiling HCl and absorbing it in soda lime after purification by passing it through anhydrous calcium chloride and copper sulfate.

Accuracy:  $\pm 2\%$  (rel.).

*Sulfur.* Total sulfur is determined gravimetrically as BaSO<sub>4</sub>, according to Rasmussen (1961), p. 53.

Accuracy:  $\pm 3\%$  (rel.).

*Phosphorus and manganese.* Phosphorus and manganese are determined colorimetrically in aliquots after decomposition of the sample and removal of organic matter, by repeated evaporations with HF and HClO<sub>4</sub>. Phosphorus is determined as the yellow molybdovanadophosphoric acid complex (460 m $\mu$ ) and manganese as permanganate (525 m $\mu$ ) according to Maxwell (1968), p. 387 and 392.

Readings on standard solutions have proved that up to 10% of the phosphorus may be volatilized during the decomposition. The amount volatilized by a given decomposition is, however, proportional to the original P concentration, and correction may, therefore, be made by including a standard in each evaporation series and measuring against this.

Accuracy:  $\pm 3\%$  (rel.) and  $\pm 2\%$  (rel.), respectively.

*Organic carbon.* Organic carbon is calculated as total carbon  $\div$  carbonate carbon. Total carbon is determined by a combustion-gravimetric method modified from Maxwell (1968), pp. 436–438.

Accuracy:  $\pm 1\%$  (rel.).

*Nitrogen.* Total nitrogen is determined by the Kjeldahl method given by Jackson (1964), pp. 183–187. It has been found that various amounts of the nitrogen – from 0% to about 20% – may occur as nitrate in the samples. Nitrate nitrogen has, therefore, been included in all determinations.

Accuracy:  $\pm 2\%$  (rel.).

*Humic matter.* Humic matter is extracted by caustic alkali both directly and after preliminary decalcification of the sample. The alkali extract is fractionated into fulvic acid and humic acid, and the fractions are determined by oxidation with potassium dichromate.

The extraction and fractionation procedure is a simplified modification of a classical scheme discussed by many authors, e.g. Kononova (1958), Kononova and Bel'chikova (1961) and Stevenson (1965).

Decalcification of the sample is achieved by treatment with 5 % HCl for half an hour in a boiling water bath. After centrifugation, the sample is washed several times with water. The amount of extractable humic matter after this short treatment with hot 5 % HCl is the same as after 24 hours' treatment with the often used, milder reagent cold 0,1 N HCl – and no difference in composition as revealed by UV-visible spectra could be noticed. Shorter treatment with cold 0,1 N HCl results in smaller, nonreproducible amounts of extractable matter.

Extraction of humic matter is carried out by treatment with 50 ml 0,1 N NaOH in a boiling water bath for one hour. After centrifugation, the extraction is repeated in the same way with 20 ml 0,1 N NaOH for half an hour and the sample is washed with cold 0,1 N NaOH. The extracts and washing solutions are combined and diluted to 100 ml (solution A).

In order to precipitate humic acid, 50 ml of solution A is acidified to about pH 1 with 4N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> and kept in a water bath at 40°C for half an hour. After centrifugation, the remaining solution is diluted to 100 ml with 0,1 N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (solution B). The centrifugation of solution B is repeated the next day for removal of small amounts of humic acid which may have been precipitated during the night. The precipitated humic acid is dissolved in 0,1 N NaOH and diluted to 100 ml (solution C).

Aliquots of the solutions A, B and C are carefully evaporated to about 5 ml (solution B after being made slightly alkaline) and are oxidized according to Rauterberg and Kremkus (1951).

Accuracy: In determination of the solutions A, B and C it has been generally accepted that  $A \div (B + C)$  is less than 5 % rel. to A. Accuracy of extraction seems to vary with the type of the sediment, being about  $\pm 3$  % (rel.) for Hodde Clay, but up to  $\pm 5$  % (rel.) for Glauconite Clay and Gram Clay.

*Trace elements.* These elements have been determined by atomic absorption (Perkin Elmer model 303) after decomposition of the sample with HF and HClO<sub>4</sub>.

Accuracy: Deviations less than the following ppm values are not regarded as significant: Li 5, Cr 10, Co 5, Ni 5, Cu 5, Zn 10, Sr 10, and Pb 5.



## Results

The material consists of 4 kg composite samples which have been air dried and stored at room temperature and also of some 15 cm tube samples (intact samples). Humic matter has been determined on air dried material, while all other determinations are made on material dried at 110°C. Sampling intervals and results of the analyses are shown on plates 1–3.

*Organic matter.* Hodde Clay is characterized by a high, but varying content of organic matter – up to 12 %  $C_{org}$  or 20 % organic matter – showing 3 marked maxima and a fourth at the basal layers penetrated by boring No. 1, 2 and DGU File No. 141.277. Glauconite Clay and Gram Clay are in contrast poorer in organic matter with a rather constant value of 1–2 %  $C_{org}$ .

*C/N ratio.* The C/N ratio shows a marked correlation to lithology. In Hodde Clay, C/N varies in the same way as organic carbon, reaching maximum values of about 40 – in bor. No. 3 even higher – at intervals with maximum carbon content. Glauconite Clay and Gram Clay are, on the other hand, characterized by a lower but rather constant level of 15–20.

It must, however, be noticed that the C/N ratios are based on total nitrogen and therefore can not be used for characterization of organic matter, unless a correction is made for inorganic nitrogen. As already stated, varying amounts of nitrate were found in the samples. This might be due to nitrification of exchangeable ammonium – a process which has been demonstrated in situ for Paleocene shales when they were exposed to atmospheric conditions (Power et al. 1974). Inorganic nitrogen has not been determined, but by plotting carbon against nitrogen, however, it is possible to get an idea of the amount. From fig. 2 it appears that the amount of inorganic nitrogen is the greatest for Hodde Clay – the corrected mean C/N ratios for Hodde Clay and for Glauconite and Gram Clay being 52,9 and 20,7, respectively.

Thus it may be stated that the composition of the organic matter in Hodde Clay is subject to a characteristic variation throughout the series, showing highest C/N ratios in the carbon maxima. In contrast, the organic matter in Glauconite Clay and Gram Clay seems to be of constant composition with respect to the C/N ratios, these being far lower than for Hodde Clay.

*Humic matter.* The term “humic matter” is used for the dark coloured alkali extractable part of the organic material. By acidification of the alkali extract it may be fractionated into humic acid, which precipitates, and fulvic acid, which remains in solution. There is, however, no sharp division

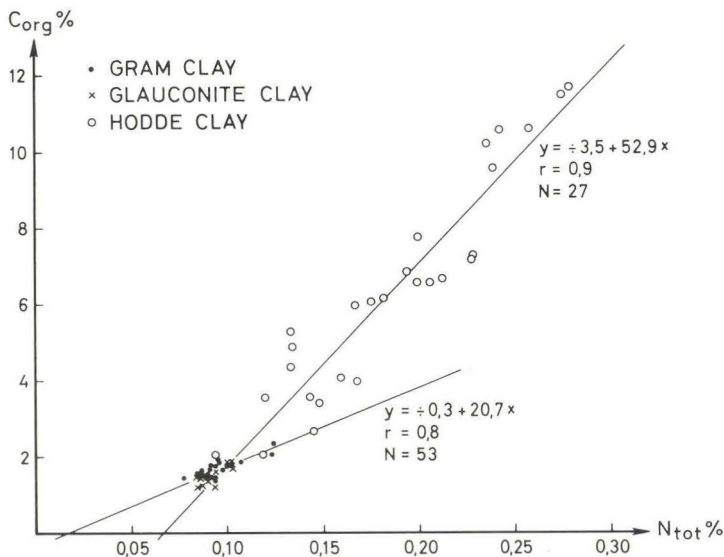


Fig. 2. Organic carbon – total nitrogen correlation (bor. No. 1).

between the two fractions. Both are polymer mixtures, humic acid representing the highest molecular weights and degree of polymerization. Further details regarding fractionation and the chemistry of humic matter in general are given by e.g. Swain (1963) and Stevenson and Butler (1969).

Humic matter may be bound to the mineral part of the sediment in different ways, and it has often been found that the amount of alkali extractable matter is increased by a prior acid treatment (Scheffer and Welte 1950b, Kononova and Bel'chikova 1961).

In the present study, humic matter has been extracted as well directly as after a prior acid treatment. The alkali extracts have been fractionated into humic acid and fulvic acid, but these fractions may not be regarded as either pure or free from artifacts, since the rather tedious procedures to obtain this – e.g. as described by King (1967) – have not been followed. The amounts of the fractions are expressed in relation to the organic carbon in terms of their reducing power (milliequivalents/0,1 g C<sub>org</sub>).

It may be noticed from plates 1–3 that fulvic acid constitutes only  $1/5$ – $1/10$  of the humic matter, being rather constant throughout the formations and unaffected by the acid treatment. The level of total humic acid, as determined in acid treated samples, is slightly higher in Hodde Clay than in Glaucconite Clay and Gram Clay. The most striking feature however, is, that the amount of easily extractable humic acid varies according to organic

carbon and C/N ratio. In Hodde Clay, almost all humic acid is easily extractable in the carbon maxima, while some bound humic acid occurs in the carbon minima. In Glauconite Clay and Gram Clay, easily extractable humic acid constitutes only half or less of the total humic acid. Special attention must be drawn to the anomalous pattern at the basal layer of the Hodde Clay as found in boring Nos. 1 and 2, but not in DGU File No. 141.277. Here an extremely high content of humic matter is not reflected either in carbon content or in C/N ratio.

Weight analytical determination of humic acid has been carried out for boring No. 1, the precipitated humic acid being washed and dried at 40°C to weight constancy. In fig. 3, the weight analytical results are plotted against the titration values. Some correlation may be noticed for the easily extractable humic acids, but for total humic acid this is absolutely not the case, especially not for Glauconite Clay and Gram Clay. This is considered to be due to unreliability of the weight analytical results, mainly because the precipitates are contaminated, as exemplified by the following ash contents: up to 75 % for total humic acid from Gram Clay and about 25 % for easily extractable humic acid from Hodde Clay, while purified humic acid may have 6–7 % ash content.

A possible way of obtaining weight analytical results might be to use the reagent Humic Acid from FLUKA as a standard, this reagent showing a titer value of 25 mequ./g reagent. This material, however, is also contaminated, showing an ash content of 29 %. Taking this into account and using a conversion factor 1,724 for calculating organic matter from  $C_{org}$ , one may find that up to  $\frac{4}{5}$  of the organic matter may consist of easily extractable humic acid as exemplified by boring No. 1 (17,56–18,00 m). Such calculations, however, are only very approximate, and weight analytical results as a whole are not presented here.

Relation between titration values and light absorption is also shown in fig. 3. By measuring at 400 nm (visible range), a fairly good correlation exists for easily extractable humic matter, but not for total humic matter, and this effect is more pronounced when measuring at 250 nm (UV region). This may be due to varying composition of the humic matter, but taking the high ash contents of the humic acids into account, it seems more likely that it could be caused by coagulation of siliceous matter. If this is the case, colorimetric methods, as used e.g. by Bahnson (1968) in determination of humic matter in peat, may not be suitable for clay sediments.

Humic matter has been further characterized by means of absorption spectra in the ultraviolet-visible region. The spectra show no characteristic maxima or minima and are not suited for structural analyses like IR spectra (Stevenson and Butler 1969) and ESR spectra (Pedersen and Willumsen

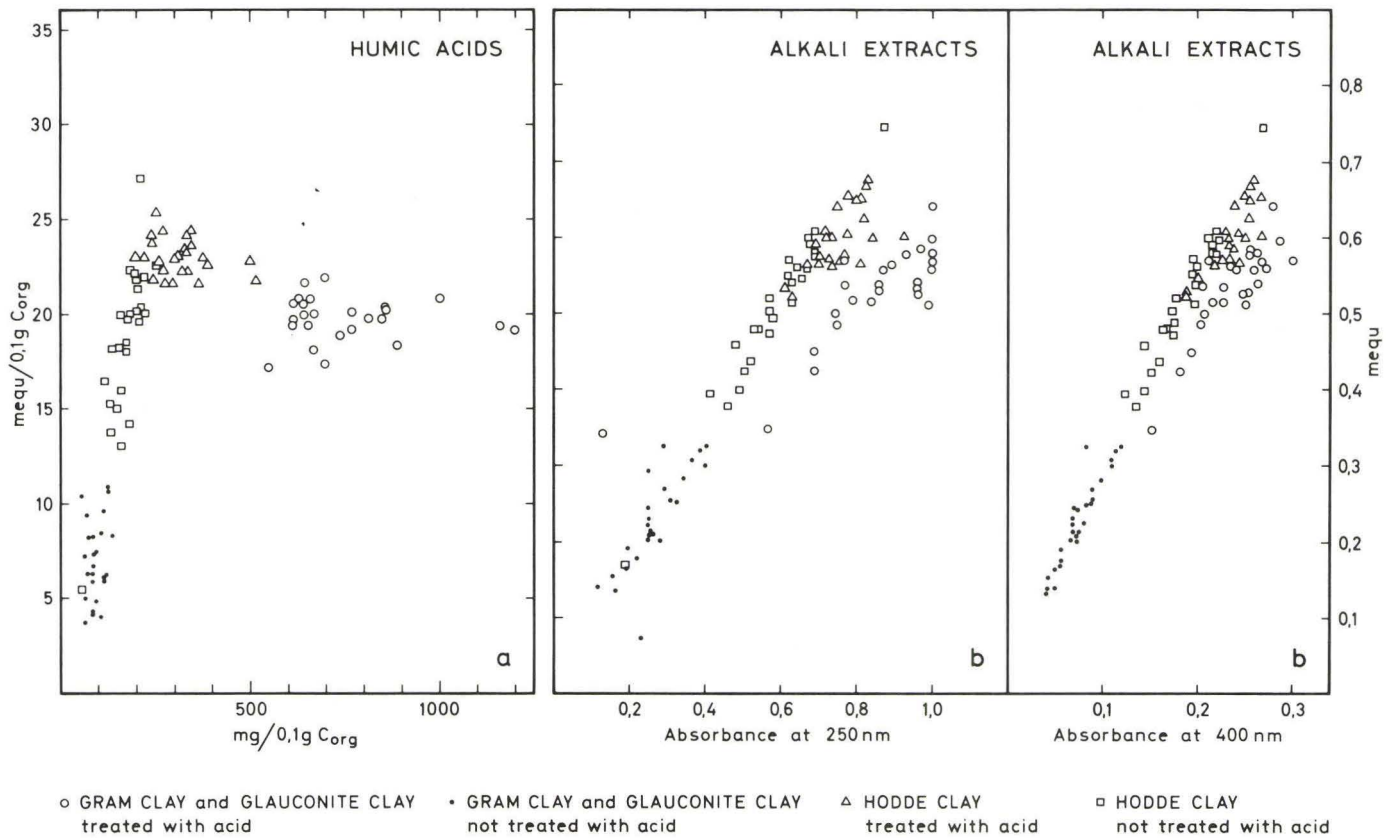


Fig. 3. Relations between different analytical methods in determination of humic matter. a. Titration values against weight analytical determinations. b. Titration values against absorbance.



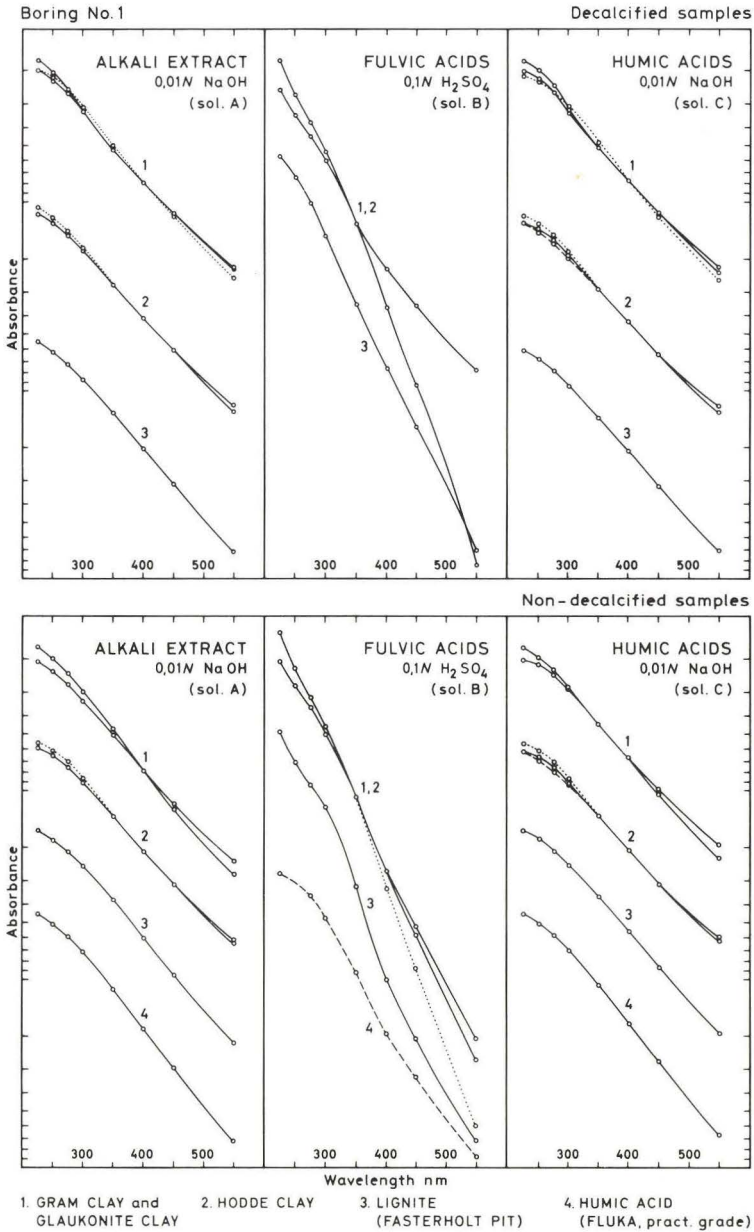


Fig. 4. Ultraviolet-visible spectra for alkali extracts, fulvic acids and humic acids.

Decalcified samples: Total humic matter.

Non decalcified samples: Easily extractable humic matter.

1973). Their different shapes and slopes may, however, be used to register variations in composition as demonstrated e.g. by Scheffer and Welte (1950a, b and 1951) in their study of humic matter from different soil types and from members of the lignification-humification-coalification sequence.

In fig. 4 spectra are shown for decalcified (i.e. acid treated) and non-decalcified samples from boring No. 1, while spectra for lignite and Humic Acid (FLUKA, pract. grade) are shown for comparison. By plotting the absorbance in a logarithmic scale against wavelength, the spectra will be unaffected by the concentration of the solution to be measured, the only concentration effect being a parallel displacement of the curve. In order to facilitate comparison of the spectra, the curves have been gathered into groups and mutually displaced to show the same absorbance at a given wavelength (solutions A and C 400 nm and solution B 350 nm).

All spectra are alike in the absence of any specific maxima and minima and in showing a general increase in absorbance with decreasing wavelength – most pronounced for fulvic acids. The shape of the curves for humic acids may, however, be somewhat related to the lithology of the sequence as outlined below.

In Hodde Clay, the total and the easily extractable humic acids from the carbon maxima are represented by one and the same curve (—) with only slight deviations at 550 nm. This curve is identical with the spectrum for lignite. The spectra from the interjacent carbon minima show higher UV absorption, approaching the dotted curve (.....), while the spectra from the basal part of the Hodde Clay show a smoother curve (--) in the UV region.

In Glauconite Clay and Gram Clay, the spectra for total humic acids show higher UV absorption, varying between the two somewhat S-shaped curves (—), the lower curve approaching the curve for carbon minima in Hodde Clay. The smoother curve (.....) represents the basal, carbonate-rich part of the Gram Clay. Easily extractable humic acids in general show a rather lower UV absorption than total humic acids, the curves being almost identical with the curves for carbon maxima and minima in Hodde Clay.

The spectra for the alkali extracts are in general accordance with those for the humic acids. Spectra for fulvic acids show no correlation to lithology.

According to Scheffer and Welte (1951), low molecular weight humic acids should be characterized by a higher UV absorption than those of higher molecular weight. Following this statement, it might be concluded from the absorption spectra that the humic matter in the carbon-rich intervals of the Hodde Clay is relatively enriched in high molecular weight compounds apparently of the same type as in lignite, while lower molecular

weight compounds might occur in the carbon minima and in the Glauconite Clay and the Gram Clay. This pattern would be in good agreement with that based on the C/N ratios. However, it must be kept in mind that the absorption spectra may be influenced by the colloidal behaviour of the humic extracts, as stated by Seidel and Ziechmann (1972). This might be of special importance for the acid treated samples of Glauconite Clay and Gram Clay, and further conclusions based on the UV-visible spectra can hardly be drawn.

*Sulfur.* Sulfur has been determined as total sulfur. The content is rather fluctuating, being generally higher in Hodde Clay and Glauconite Clay (2–3 ‰) than in Gram Clay (1–2 ‰). No marked relationship to organic matter may be seen.

Sulfur occurs as pyrite and gypsum as registered in the sand fraction. Pyrite crystals have also been noticed in the samples, often gathered into pockets, and it is supposed that finely dispersed iron sulfides as well as native and organic sulfur may also contribute to the total sulfur content.

*Carbonate.* The carbonate content in Hodde Clay is rather low ( $< 1$  ‰  $\text{CO}_2$ ), showing a slight decrease in younger strata. Being almost negligible in Glauconite Clay, it increases sharply at the boundary to Gram Clay, showing a maximum (3–5 ‰  $\text{CO}_2$ ) at the basal 2–3 metres of this series.

Carbonate occurs as calcium carbonate in the fossils, as small porous fragments, as coatings on gypsum crystals and as a component in some of the concretions. The main carbonate component of the concretions, however, seems to be iron carbonate, and it is supposed that this compound contributes significantly to the carbonate maximum at the basal layer of the Gram Clay.

*Manganese and phosphorus.* The manganese content is of the order 0,1–0,4 ‰, being minimal in the Glauconite Clay. In the Gram Clay it can be correlated to carbonate, being concentrated in the concretions, which have been found to contain 0,1–0,3 ‰ Mn, i.e. ten times as much as the clay. In Glauconite Clay and Hodde Clay it can not be correlated either to carbonate or to organic matter. Some manganese may be bound to the clay minerals.

The phosphorus content is generally less than 2 ‰ P. Like the manganese, it is concentrated in the clay ironstone concretions, which have been found to contain 1–2 ‰ P, i.e. ten times as much as the clay. There is no correlation to organic matter.



*Trace elements.* The trace element content falls within the following ppm ranges: Li 35–110, Cr 40–200, Co < 5–40, Ni 20–80, Cu 10–30, Zn 45–150, Sr 100–350, Pb < 5–55. Cr, Zn and Pb are enriched in the upper part of the Glauconite Clay and the Gram Clay, while Sr and Li are somewhat enriched in the Hodde Clay. Co, Ni and Cu fluctuate throughout the sequence. No marked relationship either to total sulfur, carbonate or organic carbon can be seen for any of the trace elements.

The trace element content falls in general within the ranges given for marine Late Cretaceous shales by Tourtelot (1964). But as no marked relationships to lithology can be noted, the distribution of these elements will not be further discussed.

## Discussion

The Hodde Formation as well as the Gram Formation may be regarded as marine on the basis of the content of fossils and glauconite. The Hodde Clay rests upon sand which is considered to be limnic or fluviatile and its basal beds are characterized by a rhythmical enrichment of sand, dominated by detrital minerals, which may indicate a slightly agitated environment. The main part of the Hodde Clay, however, may have been deposited in a quiet environment as indicated by the small sand content (< 5 %). The formation of Glauconite Clay with up to 40 % glauconite sand implies a change into a more turbulent water phase, and the occurrence of goethite pellets at the basal layer of the Gram Clay points to a near-shore well oxygenated shallow water zone, subject to wave action. An environment of this type has thus been found to be characteristic for recent formation of goethite pellets on the sea-bottom off West African deltas (Porrenga 1967, Giresse and Odin 1973). The upper part of the Gram Clay, however, may have been deposited in a calmer environment as indicated by the disappearance of goethite pellets and the decrease in sand content. A slight increase in detrital minerals in the younger strata might announce the development of a more silty facies as registered in the uppermost beds in DGU File No. 141.277.

The different types of pellets found in the sand fraction show a relationship to facies development as discussed by e.g. Valeton (1958) and Burst (1958). The shapes of the pellets might reflect different pellet forming mechanisms as proposed by Burst (1958). The greyish-greenish varieties may represent different diagenetic stages (Valeton 1958, Giresse and Odin 1973). The different types of pellets might reflect differences in the sedi-



mentary environment, but conclusions regarding such relationship can not be drawn on the basis of the present data.

The composition of the sand fraction also leads to the conclusion that the sediments have generally been subject to diagenetic processes as outlined below.

The fact that many of the slaglike fragments of pyrite contain inclusions of pellets indicate that at least some of the pyrite may have been formed or recrystallized later than the pellets, and this is assumed to be the case for the total sulfides. That would be in agreement with the generally accepted view that most sulfides in sediments have been formed after sedimentation. By laboratory experiments (Jørgensen and Fenchel 1974) as well as in situ measurements (Hallberg et al. 1973) it has been demonstrated that a reducing zone will develop a few centimetres below the sediment surface, even in an oxidizing sedimentation environment. In this "early burial stage", anaerobic bacteria are able to reduce sulfate from the seawater to sulfide under consumption of organic matter from the sediment, and iron sulfides will precipitate, if iron is present. The occurrence of pyrite in the sediments may, therefore, hardly be used as indicator for an anoxic sedimentary environment. Gypsum crystals and limonite fragments may indicate that some sulfides have later been oxidized. It can not be excluded that the oxidation might have taken place after sampling, but it seems more reasonable that it occurred in situ during weathering. Some gypsum might perhaps already have been formed syndiagenetically from sulfate in seawater in connection with aerobic bacterial decomposition of organic matter and dissolution of shells. Such processes have been reported by Fairbridge (1967).

The correlation between organic matter and total sulfur is not very pronounced. This may be explained in several ways. Available iron could be a limiting factor for the amount of sulfide produced, or total sulfur may include compounds which are not derived from syndiagenetic sulfides. And, finally, it has to be emphasized that the present content of organic matter in the sediment only represents the nonconsumed part of it and not the original amount.

For the Hodde Clay it may be noticed that the marked enrichment of humic matter in the carbon maxima is not reflected in a corresponding increase in total sulfur. Humic matter represents bacterially transformed organic matter and it may thus be assumed that it can not have been formed exclusively by in situ transformation of the organic material.

The occurrence of calcium carbonate as porous fragments with inclusions of detrital minerals and as coating on gypsum crystals indicate diagenetic processes, some of which may have taken place after formation of gypsum.

The carbonate may originate from the dissolution of shells – a process which is documented by the bad preservation of the fossils and possibly is responsible for the fact that micro fossils are absent in some intervals of the Hodde Clay. The dissolution may be due to acid environments caused either by increased CO<sub>2</sub> pressure from syndiagenetic decomposition of organic matter or by oxidation of sulfides during weathering. The diagenetic calcium carbonate coatings are thus of no help in evaluating the processes of formation of the gypsum crystals.

Lumps of greyish-greenish, sticky clay are sometimes found in the Hodde Clay. Some of these lumps have been found to contain a small shell fragment as nucleus. Dissolution of shells might thus play a role in formation of the lumps. Compared to the surrounding Hodde Clay, they are characterized by a lower content of organic carbon and total sulfur. In boring No. 3 they are, furthermore, enriched in carbonate, phosphorus and manganese, but this is not the case in boring No. 2. They may represent an intermediate stage in the formation of concretions.

Concretions, mostly siderite, occur throughout the sediments as small fragments and as real beds in the Gram Clay. In boring No. 2, the bed of concretions is situated above the basal layer characterized by a carbonate maximum and by goethite pellets. But in borings No. 1 and No. 3 it coincides with this basal layer. Because of the coincidence with the goethite pellets, the concretions can hardly be syndiagenetic. They are assumed to be formed anadiagenetically due to migrating pore water during compaction of the sediment (Illies 1949).

The composition of the organic matter undergoes a characteristic variation during sedimentation of the marine clays.

In the Glauconite Clay and Gram Clay, the organic matter may be of rather uniform composition as indicated by the C/N ratios and the amount of humic matter. The C/N ratios (15–20) are slightly higher than those found in Recent and Late Quaternary Baltic sediments (8–11) as reported by Gripenberg (1934), Zsolnay (1971) and Larsen (1974) and in shelf sediments (4,3–12,7) as reported by Stevenson (1960). The UV spectra might indicate a varying composition, but as mentioned these are thought to be influenced by the colloidal behaviour of the solutions. They can therefore hardly be regarded as indicative of composition.

In contrast, the composition of the organic matter in Hodde Clay seems to change in relation to its amount. The intervals rich in organic matter are characterized by high C/N ratios – up to 40 and even higher if corrected for inorganic nitrogen as shown in fig. 2. These values are of the same magnitude as those reported for Paleozoic shales (35–43) by Stevenson

(1962), and they may indicate strongly degraded organic matter. This could represent a supply of allochthonous terrestrial organic matter – a theory which is supported by the high C/N ratio (86) found in lignite from the FASTERHOLT pit. The complete dominance of easily extractable humic matter, which according to the UV spectra (fig. 4) seems to be of similar composition to that in lignite, points in the same direction. Several authors, e.g. Gripenberg (1934), Hansen (1959, 1962, 1964a, b), Stewart and Gorsline (1962) and Villumsen (1976) have similarly explained high C/N ratios in sediments of different geological settings as being due to a supply of terrestrial organic matter.

In the Hodde Clay intervals with carbon minima, the composition seems to represent intermediate stages between that of the Hodde Clay carbon maxima and that of the Glauconite Clay and the Gram Clay.

Finally, attention must be drawn to the basal layer of the Hodde Clay which is characterized by special conditions regarding both the amount and composition of the humic matter. This can perhaps be attributed to a special facies development, e.g. corresponding to the gyttja facies described in the SØBY-FASTERHOLT area (Koch et al. 1973).

It can thus be concluded that the organic matter in the Hodde Formation as well as in the Gram Formation may represent mixtures of autochthonous organic matter and allochthonous terrestrial organic matter – mainly humic matter. During deposition of the Hodde Formation, a periodically strong sedimentation of terrestrial humic matter may have taken place, while this may have played a far more subordinate role during deposition of the Glauconite Clay and the Gram Clay. It may be noticed that the carbon maxima of the Hodde Clay can be correlated over a distance of at least 2 km (fig. 1). The assumption of a sedimentation of allochthonous terrestrial organic matter is in accordance with the view by Thiele (1941), cit. in Valetton (1958), that North German Middle and Upper Miocene Mica Clays contain colloidal land derived humic matter. And, furthermore, it is supported by observations from North Germany made by Heck (1951), who found a development from autochthonous lignite in the East through allochthonous lignite to clays with humic detritus in the West.

That part of the humic matter which is extractable only after acid treatment is thought to be bound to clay particles. This is evidenced by the discrepancy between weight analytical, colorimetric and titrimetric results for the acid treated samples (fig. 3). Since clay minerals can adsorb more humic matter under salt water conditions than under fresh water conditions (Rashid, Buckley and Robertson 1972), it might be reasonable to suppose that the varying proportions of bound and easily extractable humic matter through-



out the sequence may reflect variations in salinity. Predominance of bound humic matter might thus indicate salt water conditions, while predominance of easily extractable humic matter may point to a more brackish water environment.

The variation in the total amount of deposited humic matter is also thought to be related to changes in salinity. According to Narkis et al. (1968), free humic acid will flocculate more easily than clay minerals and organo-clay compounds when exposed to a cationic flocculant. One might thus expect that humic matter and clay particles would be subject to a separation when discharged from a river into a marine environment – the humic matter being precipitated in the brackish water zone near the influx of fresh water and the clay particles and organo-clay compounds under more saline conditions. This assumption appears to be supported by field data. According to Darnell (1967), it has thus been established for some estuaries that the relative importance of allochthonous organic matter may vary in relation to the position of the salinity gradient.

The bounding properties and the total amount of organic matter may thus point to changing salinity during deposition of the Hodde Clay, the carbon maxima representing a brackish water environment. The lowermost carbon minimum corresponds to a sand maximum and may thus be due to a more agitated environment. But this is not the case for the remaining carbon minima in the Hodde Clay, and these are thought to indicate more saline conditions. Glauconite Clay and Gram Clay may, finally, have been deposited under still higher and more constant salinity. This assumption is supported by the size of the molluscs as mentioned by Rasmussen (1966).

The sedimentary environment seems to be rather uniform in the area as demonstrated by the marked correlation between the borings, both in lithology and chemical data.

The environment during deposition of the Hodde Formation and the Gram Formation may be described as follows. The marine Hodde Clay rests transgressively on sand, which is thought to be limnic or fluvatile. After an initial phase with a supply of detrital sand, the environment changes to quieter conditions. The investigated area was probably not very far from the coast towards the East, cfr. fig. 1. It was characterized by a considerable, but varying sedimentation of terrestrial organic matter – mainly humic matter. The humic matter might be supplied from swampy areas as described by Heck (1951) and Koch et al. (1973). The salinity is thought to have changed periodically between brackish and marine. This points to an estuarine environment, and the changing salinity might thus indicate an oscillating salt wedge. This might be due to changes in river



discharge or to changes in salt water influx. The Glauconite Clay and the basal bed of the Gram Clay, which is rich in goethite, indicate a more agitated and oxygenated environment. This changes to less agitated marine conditions with clay sedimentation during deposition of the Upper Gram Clay. The investigated section reflects a transgressive sequence in a rather sheltered sea. The lithological development suggests that the area has hardly been an estuary cut off from the sea by offshore bars, but more likely has represented an open shallow water embayment.

It may thus be concluded that the data in general confirm the present view regarding the sedimentary environment as put forward by e.g. Rasmussen (1966) and Koch (1973). And, finally, it may be emphasized that the chemical data, especially the content of organic matter, seem to be a valuable supplement to the biostratigraphical subdivision of the Hodde Clay.

*Acknowledgements.* *Leif Banke Rasmussen*, head of the Department of Subsurface Geology, Geological Survey of Denmark, has kindly placed material from the boring DGU File No. 141.277 at my disposal. *Birger Larsen* and *Finn Nyhuus Kristoffersen* have contributed with valuable discussions. *Mimi Christensen* and *Bente Frydenlund* have done the laboratory work. Some of the trace element analyses have been performed by *Anna Simonsen*, the Mineralogical Institute, Technical University of Denmark. *Anne Grethe Thomsen*, the Institute of Ceramics, Technical University of Denmark, has identified the goethite pellets, and *Lise Olsen*, the Mineralogical Institute, has analysed the black pellets. *Inger Petersen* has drafted the figures and plates, and *Kirsten Lembcke* has typed the manuscript.

I wish to express my gratitude to all who have assisted in the preparation of this paper.

## Dansk sammendrag

Tre borer i det marine Yngre Miocæn ved Gram, SW Jylland, er undersøgt kemisk for carbonat, mangan, fosfor, total svovl og organisk stof, idet dette er karakteriseret ved C/N forhold og ved indhold af direkte ekstraherbart og af bundet humus. En af borerne er yderligere undersøgt for spormetaller.

Hodde Leret kendetegnes ved et højt, men varierende indhold af organisk stof, hvis sammensætning varierer i takt med indholdet. I afsnit med kulstof maxima karakteriseres det ved højt C/N forhold (op til 40) og ved, at så godt som al humus er direkte ekstraherbart. Glaukonit Ler og Gram Ler har et mindre, men konstant indhold af organisk stof med lavere C/N forhold (15–20) og med op til halvdelen af humus på bunden form. Carbonat, mangan og fosfor koncentrerer i Gram Lerets basale del med lerjernstenskonkretioner. Svovl varierer regelløst gennem lagserien, dog med et lidt højere niveau i Hodde Leret. Spormetallerne viser ingen korrelation, hverken til carbonat, svovl eller organisk stof.

Lagserien kan inddeles efter sandfraktionens sammensætning. Denne antyder iøvrigt, at der er foregået diagenetiske processer i lagserien.

Hodde Leret hviler transgressivt på sand, der formodes at være limnisk eller fluviatilt. I dets basale del træffes indslag af detritisk sand. Derefter udvikles et roligt sedimentationsmiljø, hvori der aflejres betydelige, men varierende mængder af allochtont terrestrisk organisk materiale, der overvejende består af humus. Miljøet tolkes som estuarint, og saltholdigheden formodes at variere mellem brakvands- og marine forhold. Glauconit Leret og Gram Lerets basale goethitholdige del antyder et mere uroligt og iltholdigt lavvandmiljø. Dette går over i mere rolige marine forhold under aflejring af Gram Leret.

De fremkomne data bekræfter således i store træk den hidtidige opfattelse af Hodde Formationens og Gram Formationens aflejningsforhold.

## References

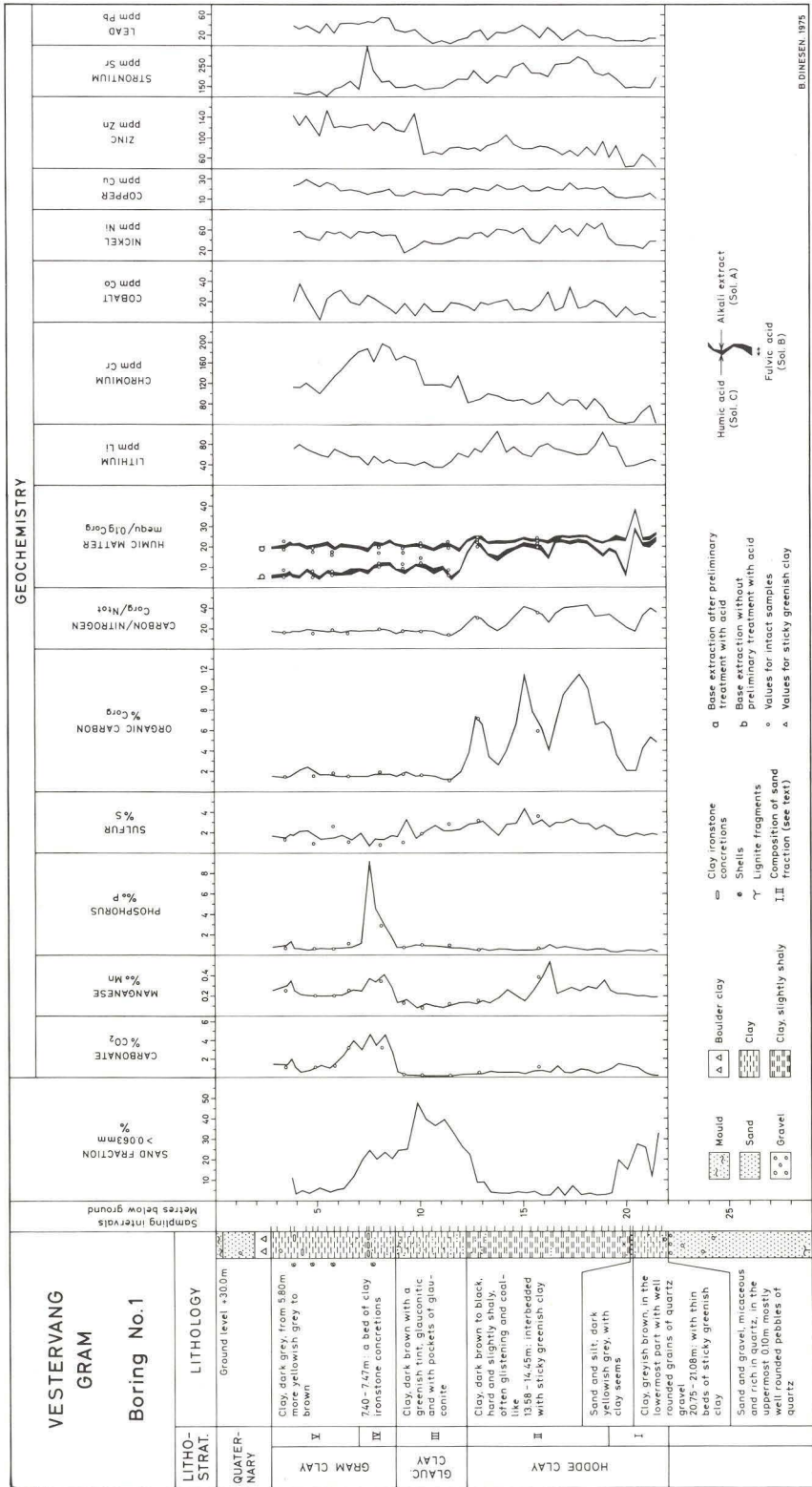
- Asgaard, U. and Bromley, R. 1974: Sporfossiler fra den Mellem Miocæne transgression i Søby-Fasterholt området. – Dansk geol. Foren. Årsskrift 1973, pp. 11–19.
- Bahnsen, H. 1968: Kolorimetrisk bestemmelse af humificeringstal i højmosetørv fra Fuglsø Mose på Djursland. – Meddr dansk geol. Foren., 18, pp. 56–64.
- Bertelsen, F. and Kristoffersen, F. N. 1974: On the environments and stratigraphy of the Late Tertiary of Rømø, SW Denmark. – Danm. geol. Unders., Årbog 1973, pp. 5–14.
- Burst, J. F. 1958: Glauconite pellets: their mineral nature and applications to stratigraphic interpretation. – Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists, 42, pp. 310–328.
- Christensen, E. F. 1975: The Søby Flora: Fossil plants from the Middle Miocene delta deposits of the Søby-Fasterholt area, Central Jutland, Denmark. Part I – Danm. geol. Unders., II. Række, 103.
- Darnell, R. M. 1967: Organic Detritus in Relation to the Estuarine Ecosystem. – *In*: Lauff, G. H. (ed.). Estuaries. – Amer. Assoc. Advanc. Sci.
- Fairbridge, R. W. 1967: Phases of Diagenesis and Authigenesis. – *In*: Larsen, G. and Chilingar, G. V. (ed.). Diagenesis in Sediments, pp. 19–91. – Elsevier.
- Gresse, P. and Odin, G. 1973: Nature mineralogique et origine des glauconies du plateau continental du Gabon et du Congo. – Sedimentology, 20, pp. 457–488.
- Gripenberg, S. 1934: A Study of the Sediments of the North Baltic and Adjoining Seas. – Fennia, 60 (3).
- Hallberg, R. O. (ed.) 1973: The Chemical-Microbiological Dynamics of the Sediment-Water Interface. – Contrib. from the Askö Laboratory, University of Stockholm, Sweden, 2:1, pp. 1–117.
- Hansen, K. 1959: The Terms Gytta and Dy. – Hydrobiologia, XIII (4), pp. 309–315.
- Hansen, K. 1962: The Dystrophic Lake Type. – Hydrobiologia, XIX (2), pp. 183–191.
- Hansen, K. 1964a: Oversigt over danske søsedimenter. – Meddr dansk geol. Foren., 15, pp. 428–430.
- Hansen, K. 1964b: The Post-glacial Development of Grane Langsø. – Meddr dansk geol. Foren., 15, pp. 446–458.
- Heck, H.-L. 1951: Der Stand unserer Kenntnis über die Braunkohlen-Vorkommen in Schleswig-Holstein. – Schriften des Naturwiss. Vereins für Schleswig-Holstein, 25, pp. 83–90.
- Illies, H. 1949: Die Lithogenese des Untereozäns in Nordwestdeutschland. – Mitt. Geol. Staatsinstitut in Hamburg, H. 18, pp. 7–47.

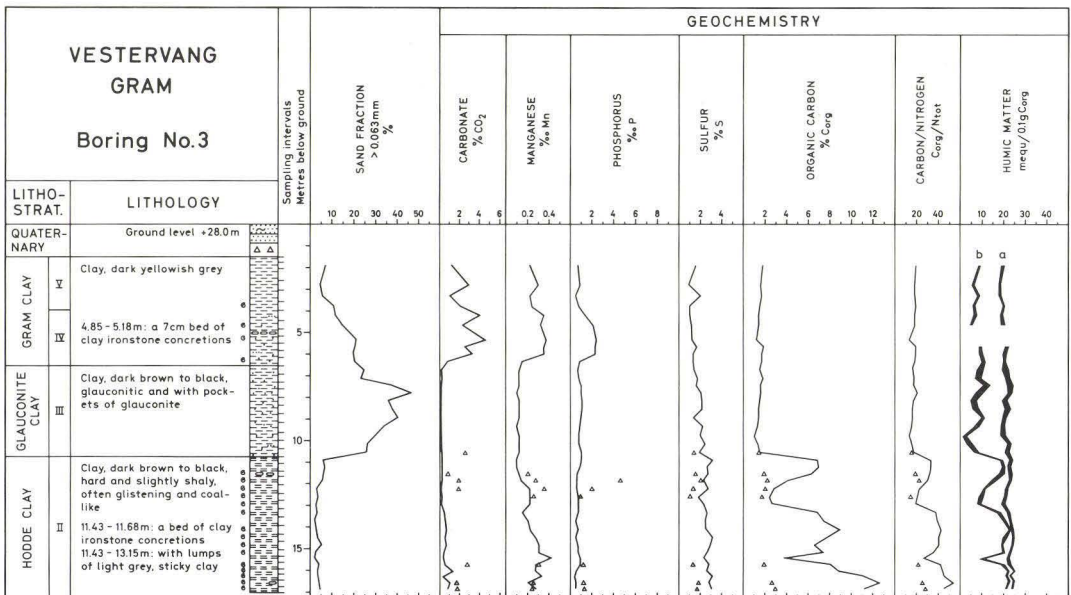
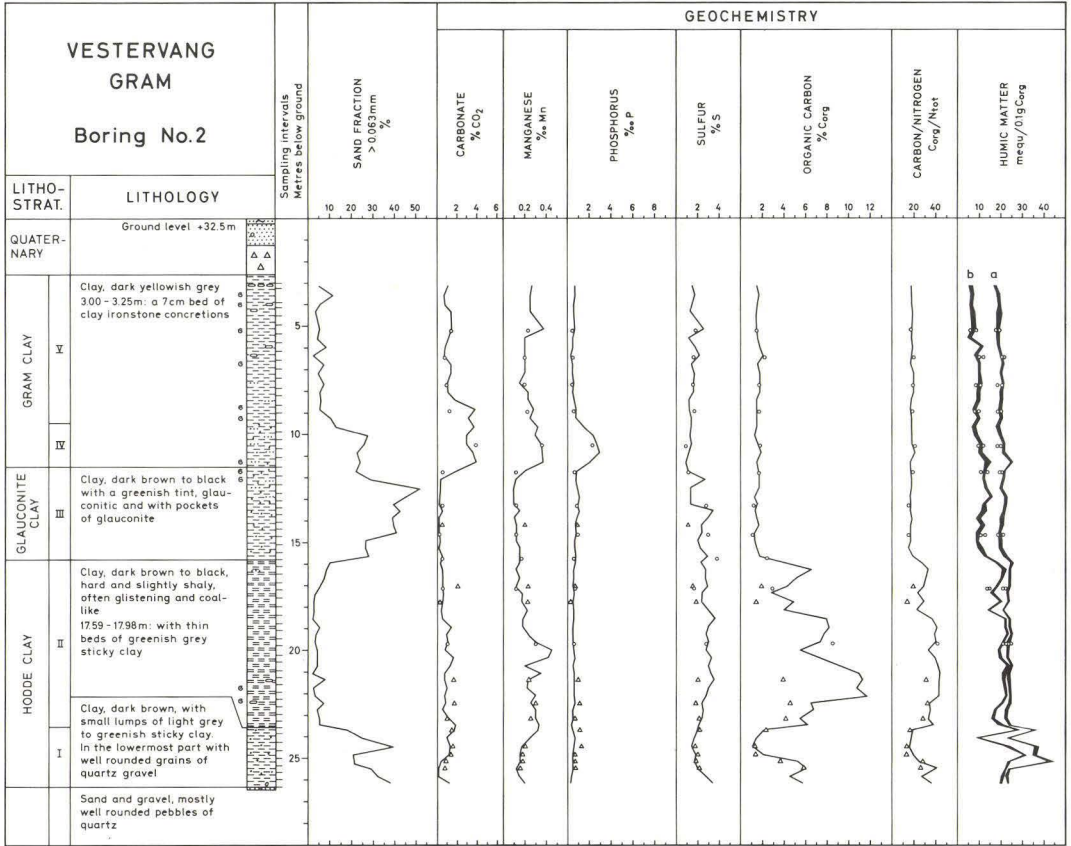
- Jackson, M. 1964: Soil Chemical Analysis. – Prentice-Hall, Inc.
- Jørgensen, B. B. and Fenchel, T. 1974: The Sulfur Cycle of a Marine Sediment Model System. – *Marine Biology*, 24, pp. 189–201.
- King, L. H. 1967: Isolation and characterization of organic matter from glacial-marine sediments on the Scotian Shelf. – *Bedford Institute of Oceanography Report No. 67-4*.
- Koch, B. E., Friedrich, W. L., Christensen, E. F., & Friis, E. M. 1973: Den Miocæne brunkulsflora og dens geologiske miljø i Søby-Fasterholt området sydøst for Herning. – *Dansk geol. Foren. Årsskrift 1972*, pp. 1–57.
- Kononowa, M. 1958: Die Humusstoffe des Bodens. – *Deutscher Verlag der Wissenschaften*.
- Kononova, M. and Bel'chikova, N. 1961: Quick Methods of Determining the Humus Composition of Mineral Soils. – *Soviet Soil. Sci.*, 10, pp. 1112–1121.
- Kristoffersen, F. N. 1972: Foraminiferzonering i det jyske Miocæn. – *Dansk geol. Foren., Årsskrift 1971*, pp. 79–85.
- Kristoffersen, F. N. 1973: Studies on some Elphidiidae (foraminifera) from the Miocene of Denmark. – *Danm. geol. Unders., Årbog 1972*, pp. 25–36.
- Kristoffersen, F. N. 1974: See Bertelsen, F. and Kristoffersen, F. N. 1974.
- Larsen, B. 1974: Senkvartære sedimenter i Bornholm-bækkenet, Østersøen. – *Uppsala-symposiet 1974. Senkvartær Utveckling i Östersjöbäcknenet. – Uppsala Universitet*.
- Larsen, G. and Friis, H. 1973: Sedimentologiske Undersøgelser af det jyske ung-Tertiær. – *Dansk geol. Foren., Årsskrift 1972*, pp. 119–128.
- Maxwell, J. 1968: Rock and Mineral Analysis. – *Interscience Publishers*.
- Narkis, N. et al. 1968: Flocculation of Clay Suspensions in the Presence of Humic and Fulvic Acids. – *Israel Journal of Chemistry*, 6, pp. 295–305.
- Pedersen, J. A. and Villumsen, A. 1974: ESR investigations of humic acids. – *Danm. geol. Unders., Årbog 1972*, pp. 133–140.
- Porrenga, D. H. 1967: Glauconite and Chamosite as Depth Indicators in the Marine Environment. – *Marine Geology*, 5 (5/6), pp. 495–503.
- Power, J. F., Bond, J. J., Sandoval, F. M. and Willis, W. O. 1974: Nitrification in Paleocene Shale. – *Science*, 183, pp. 1077–1079.
- Rashid, M. A., Buckley, D. E. and Robertson, K. R. 1972: Interactions of a marine humic acid with clay minerals and a natural sediment. – *Geoderma*, 8, pp. 11–27.
- Rasmussen, K. 1961: Uorganiske svovlforbindelsers omsætninger i jordbunden. – *Udg. af De Studerendes Råd ved Den kgl. Veterinær- og Landbohøjskole*.
- Rasmussen, L. B. 1956: The Marine Upper Miocene of South Jutland and its Molluscan Fauna. – *Danm. geol. Unders., II. Række*, 81.
- Rasmussen, L. B. 1961: De miocæne Formationer i Danmark. – *Danm. geol. Unders., IV. Række*, bd. 4, 5.
- Rasmussen, L. B. 1966: Molluscan Faunas and Biostratigraphy of the Marine Younger Miocene Formations in Denmark. – *Danm. geol. Unders., II. Række*, 88.
- Rasmussen, L. B. 1973: Nye perspektiver i kendskabet til Danmarks marine ung-Tertiær. – *Dansk geol. Foren., Årsskrift 1972*, pp. 129–135.
- Rauterberg, E. and Kremkus, K. 1951: Bestimmung von Gesamthumus und alkalilöslichen Humusstoffen im Boden. – *Zeitschr. für Pflanzenernährung, Düngung, Bodenkunde*, 54 (99), (1), pp. 240–249.
- Scheffer, F. and Welte, E. 1950a: Die Anwendung der Absorptionsspektrographie in der Humusforschung. – *Zeitschr. für Pflanzenernährung, Düngung, Bodenkunde*, 48 (93), (1/2), pp. 250–263.

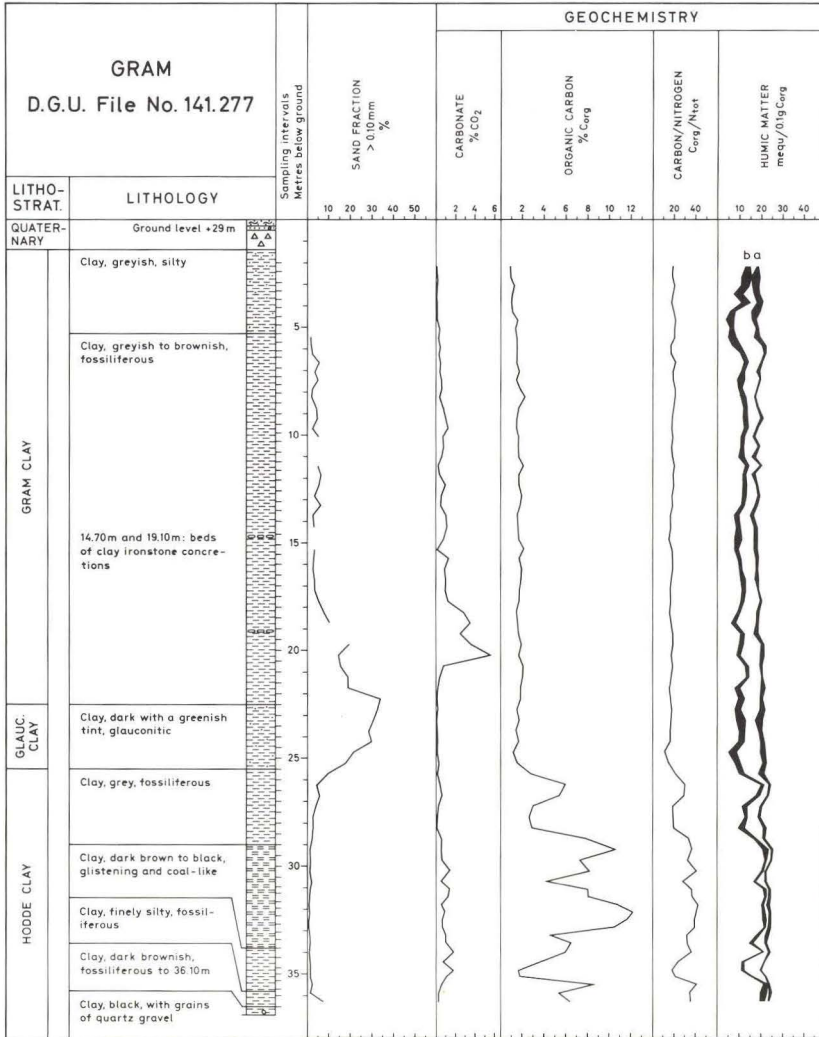


- Scheffer, F. and Welte, E. 1950b: Über absorptionspektrographische Untersuchungen an natürlichen Huminsäuren. – *Landwirtsch. Forschung*, I (2/3), pp. 190–220.
- Scheffer, F. and Welte, E. 1951: Die Ultraviolett-Absorption von Huminsäuren aus Hochmoortorf, Braun- und Steinkohlen. – *Landwirtsch. Forschung*, III (1), pp. 1–6.
- Seidel, H. and Ziechmann, W. 1972: Zur Kolloidchemie nativer Humusstoff-Sole. – *Erdöl und Kohle – Erdgas – Petrochemie vereinigt mit Brennstoff-Chemie*, 25. Jahrg., pp. 327–333.
- Stevenson, F. J. 1960: Some aspects of the distribution of biochemicals in geologic environments. – *Geochim. et Cosmochim. Acta*, 19, pp. 261–271.
- Stevenson, F. J. 1962: Chemical state of the nitrogen in rocks. – *Geochim. et Cosmochim. Acta*, 26, pp. 797–809.
- Stevenson, F. J. 1965: Gross Chemical Fractionation of Organic Matter. – *In*: Black, C. A. (ed.), 1965. *Methods of Soil Analysis, part II: Chemical and Microbiological Properties.* – *Am. Soc. Agronomy.*
- Stevenson, F. J. and Butler, J. H. A. 1969: Chemistry of Humic Acids and Related Pigments. – *In*: Eglinton, G. and Murphy, M. T. J. (ed.). *Organic Geochemistry*, pp. 534–557. – Springer-Verlag.
- Stewart, R. A. and Gorsline, D. S. 1962: Recent sedimentary history of the St. Joseph Bay, Florida. – *Sedimentology*, 1, pp. 256–286.
- Swain, F. 1963: Geochemistry of Humus. – *In*: Breger, I. (ed.). *Organic Geochemistry*, pp. 87–147. – Pergamon Press.
- Tourtelot, H. A. 1964: Minor-element composition and organic carbon content of marine and non marine shales of Late Cretaceous age in the western interior of the United States. – *Geochim. et Cosmochim. Acta*, 28, pp. 1579–1604.
- Valeton, I. 1958: Der Glaukonit und seine Begleitminerale aus dem Tertiär von Walsrode. – *Mitt. Geol. Staatsinst. Hamburg*, 27, pp. 88–131.
- Valeton, I. 1959: Zur Petrographie der miozänen Glimmertons- und Glimmersandfazies Nordwestdeutschlands. – *Mitt. Geol. Staatsinst. Hamburg*, 28, pp. 110–125.
- Villumsen, A. and Lykke Andersen, H. 1976: Late and Post Glacial sediments in the Randers Fjord Area. Geochemical, sedimentological and geoelectric investigations. – *Danm. geol. Unders., II. Række*, 107.
- Zsolnay, A. 1971: Diagenesis as a Function of Redox Conditions in Nature: A Comparative Survey of Certain Organic and Inorganic Compounds in an Oxic and Anoxic Baltic Basin. – *Kieler Meeresforschungen*, 27, (2), pp. 135–165.













# Recent iron-rich sediments in the Skjernå river system and in Ringkøbing fjord. (Iron pollution of the river Skjernå and Ringkøbing fjord, Western Jutland)

Arne Villumsen

Villumsen, Arne: Recent iron-rich sediments in the Skjernå river system and in Ringkøbing fjord. (Iron pollution of the river Skjernå and Ringkøbing fjord, Western Jutland). *Danm. geol. Unders., Årbog 1975*, pp. 31–43. København, 1. september 1976.

Preliminary results of an investigation of the iron pollution of the Skjernå river system and Ringkøbing fjord are presented. The pollution is caused by human activity (mining of brown coal, drainage of meadows, straightening of rivers). The results indicate a deterioration of life conditions for the makrobenthos in Ringkøbing fjord caused by the supply of iron. At present no quantitative statement concerning the relative importance of human intervention on the iron supply to the fjord can be given.

During 1974 and 1975 an investigation of water and sediment chemistry in the river Skjernå and in Ringkøbing fjord, Western Jutland, has been carried out at the Geochemical Department of the Geological Survey of Denmark. The main purpose of this research was to obtain precise information on the extent and the reasons for iron pollution in the area, which has been claimed to be responsible for a decrease in the yield of fishing and angling. The iron pollution is the result of human activities, the most important of which are the mining of brown coal, drainage of meadows (especially the area west of Skjern and Tarm) and straightening of meandering rivers. The investigation is not yet completed, but some preliminary results are presented in this paper and in two other publications (Kristiansen, 1976 and Jacobsen, 1976).

## Outline of the geology and geochemistry of the investigated area

The Skjernå river, including its tributaries, drains an area of about 2200 km<sup>2</sup> in which the Quaternary deposits include the following main types (see fig. 1):

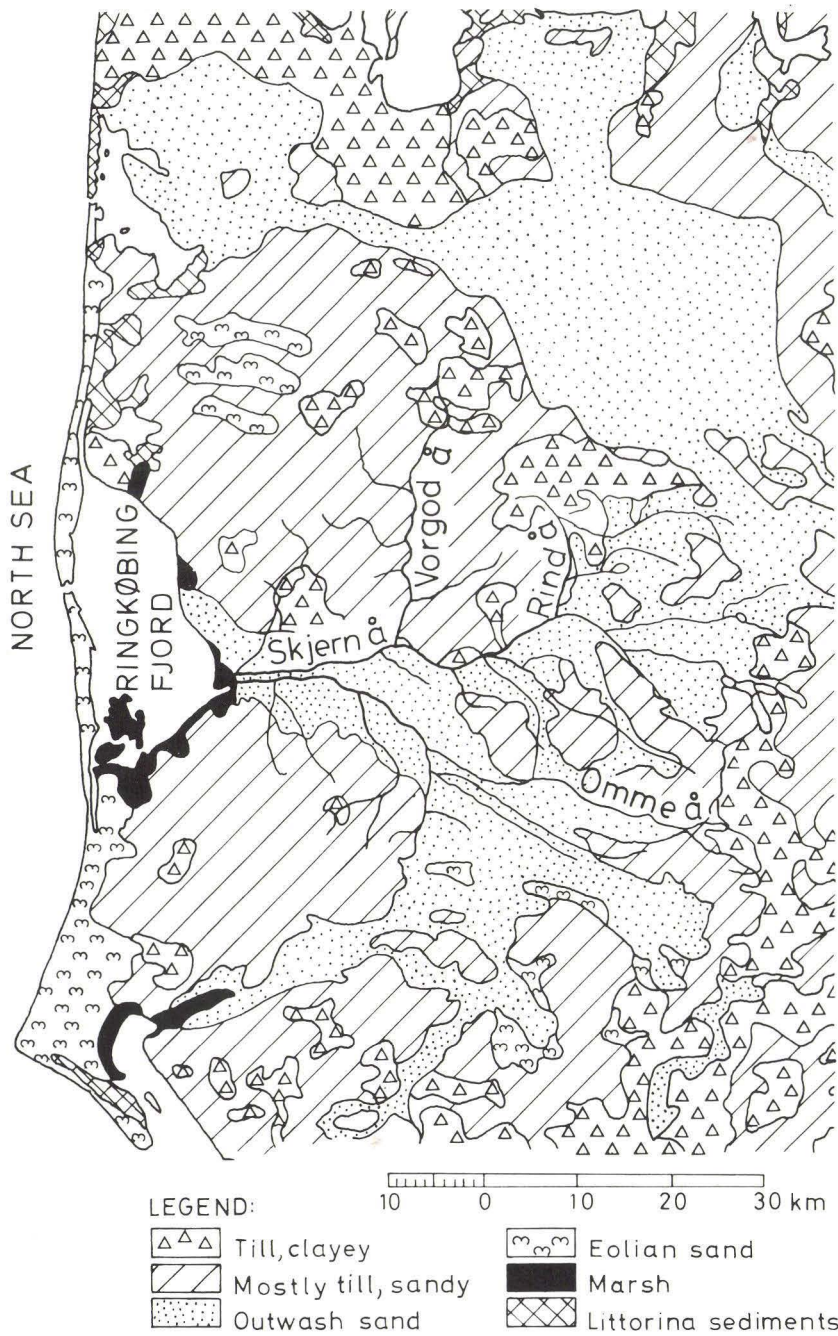


Fig. 1. Generalized map of Quaternary sediments in Western Jutland (after K. Milthers, 1954).

1. hill islands (mainly till and diluvial sand)
2. outwash plains (sand)
3. bogs and meadows (organogenic deposits, especially peat and marsh).

The areas which are built up of till and diluvial sand are generally referred to the Riss glaciation. Due to the topography these areas have been named hill islands, lying as erosional remnants in the younger outwash plains. The outwash plains were formed during the melting periods following the Riss glaciation (i.e. mainly before and after the Weichsel glaciation during which Western Jutland was not covered by ice). The outwash plains consist mainly of sand. During the Holocene freshwater organogenic sediments were formed in bogs and meadows in the area. Generally these deposits are rich in organic matter (peat etc.) with a variable admixture of clastic components. In the western part of the area, around Ringkøbing fjord, surface deposits of marsh sediments occur.

Geochemically the upper metres of the investigated area can be classified as being intensively weathered, which is the result of the combined effects of age, climatic conditions, hydrology, and the original geological composition. This means that the upper metres of the sediments are more or less free of lime, and that the surface water is characteristically low in alkalinity, pH, and hardness (Ca and Mg content is low). However, in the deeper-seated parts of the hill islands as well as in the low-lying meadows a certain amount of lime is still present. Manganese and iron which are released by the weathering processes have been deposited along the rivers, for example in organic-rich sediments as bog iron ore or in the transition zone between freshwater and marine water in the area west of Skjern and Tarm (in the so-called Skjernå delta).

The Pre-quaternary sediments of the area are mainly Miocene quartz sand containing layers of brown coal (see for example Koch et al., 1973). The brown coals have formerly been mined from open pits, but today the mining has ceased. The brown coals are interbedded with layers of clay for which the depositional environment has allowed an accumulation of metal sulphides, the most important being iron sulphides. As a result of the brown coal mining these deposits have been piled up and thereby exposed to oxidation. The ground water within the area studied reflects partly the above-mentioned intense weathering of the surface and partly the geology of the deeper-lying sediments, thus giving a characteristic water chemistry: low hardness, alkalinity, and pH; and high concentrations of excessive CO<sub>2</sub>, iron, and manganese. In the deeper ground water reservoirs more alkaline water is present.



## Geology of the Skjernå delta

Geological information on the low-lying area between Ringkøbing fjord and a point slightly to the east of Skjern and Tarm (the Skjernå delta) (fig. 1) has been taken from files in the Well Record Department, Geological Survey of Denmark, and supplemented by some 15 small borings carried out during this investigation to obtain samples for chemical analyses. Sediments from the upper 30–50 m within the area are dominated by thin layers of sand and clay deposited in a fluvial environment. The upper few metres have been called diluvial deposits (Quaternary), while the deeper sediments have earlier been referred to the Tertiary, based on their content of mica or rebedded brown coal material. Investigations of the foraminifera from a few borings in the area indicate, however, that this stratigraphic division is invalid (pers. comm. A. Dinesen and F. N. Kristoffersen, 1975). It seems more likely that the fluvial sediments rich in mica and brown coal are rebedded by the Quaternary meltwater streams.

Above the fluvial sediments in the Skjernå delta a series of Holocene deposits rich in organic matter is present. Freshwater sediments (peat) are found at levels ranging from -10 to -5 m below sea level, and as these deposits are overlain by marine (*Littorina*) sediments, they are assumed to have been formed early in the Holocene in the so-called Continental Period. The level for the peat gives an indication of the level of the Skjernå delta at that time which is in general agreement with earlier findings (Mertz, 1924). Above the peat (which is normally less than ½ m thick), and sometimes interlayered with it, marine (*Littorina*) sediments are found. The *Littorina* deposits are up to 2–3 m thick. The precise demarcation of the area transgressed by the *Littorina* sea is not yet known, but it seems most likely that only a narrow zone around the present Skjernå river was covered by the *Littorina* sea. According to Andersen (1963) the *Littorina* sea seems to have covered this area for only a short period of time, and therefore it is natural that Holocene freshwater sediments dominate the upper 5–6 m of the sequence in the Skjernå delta. In the western part of the Skjernå delta these youngest deposits consist almost exclusively of sand, while eastwards there is an increasing content of organic matter in the sediments. The western sand zone is presumably the result of beach-ridge formation in Ringkøbing fjord and sedimentation of suspended material from the river Skjernå. Behind this sand zone conditions were favourable for peat formation and sedimentation of more fine-grained material (silt and clay) around the meandering Skjernå river.



## Chemical composition of sediments from the Skjernå delta

The chemical composition of sediments from the Skjernå delta is highly variable. Sediments rich in sand and silt are almost insoluble in aqua regia, giving an insoluble residue of 95–98 % (d.m.). The remainder is  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  and loss on ignition. The clay sediments have about 85 % insoluble residue (including  $\text{SiO}_2$  from acid-soluble silicates), and normally a considerable loss on ignition (organic matter, chemically combined water). The sulphur content (total S) varies from 0.2 to 3–4 %, highest in samples rich in organic matter. The  $\text{Al}_2\text{O}_3$  content is about 0.5 %. The peat has an insoluble residue of 20–30 %, but deviations from this value are common due to variations in the admixture of sand. Loss on ignition is often around 50 %, and the  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  content is between 10 and 15 %. Total S content is 1–9 %, most of which is found as reduced sulphur compounds (e.g. sulphides). The content of CaO is about 1 %, MgO 0.5 %, and  $\text{Al}_2\text{O}_3$  1–3 %.

## Recent iron-rich sediments in Vorgodå and Sydlige parallelkanal

During 1975 the recent river sediments in most of Vorgodå and Sydlige parallelkanal (fig. 1 and 2) were mapped, and a few samples from the river Skjernå were taken for comparison. The purpose of this was to study a possible effect of the river-water chemistry (cf. Jacobsen, 1976 and Kristiansen, 1976) on the sediments and thereby a.o. to estimate the extent of the iron pollution of the river bottom.

### *Vorgodå*

Bottom sediments in the river Vorgodå are normally sandy but vary in composition within very small distances downstream as well as across the river due to local differences in stream velocity (for example erosion at one side of the river, sedimentation at the other).

The overall impression is that the iron content in the sediments is higher in Vorgodå south of the stream Rimmerhus bæk than in Skjernå river, and that the iron occurs mainly as one of the following three main types in Vorgodå:

1. coatings on sand grains
2. loose ochre
3. more or less reduced iron compounds.

Sand grains coated with iron are especially common in the upper part of Vorgodå, from the outlet of the stream Rimmerhus bæk (see fig. 1 in Jacobsen, 1976) and a few km downstream. The coating has a characteristic

yellow colour. Loose ochre layers are found mostly within approximately the same part of Vorgodå, but ochre is also present in the remaining part of Vorgodå south of the outlet of Rimmerhus bæk. At some localities the ochre is found as a thin, hard crust, or is mixed up in the upper 5–10 cm sand. Iron, in a more or less reduced state, grey to black in colour, occurs in quiet environments associated with organic material, or a few cm below the oxidized river bottom. No iron sulphide reflections could be obtained from the material by X-ray diffraction.

Chemical analyses (aqua regia treatment) of 12 samples from 7 different localities in Vorgodå show that sand grains coated with iron might contain about 2 %  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , while the loose ochre and ochre crusts have 3–8 %  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . The reduced iron-rich sediments contain 2–10 %  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  but only up to 0.7 % S, and their  $\text{Al}_2\text{O}_3$  content is 1–4 %, which is rather high. Loss on ignition varies between 4 and 14 % for the reduced iron-rich sediments. At one locality the reduced iron-rich sediment had extremely high contents of  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (29.1 %) and  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (17 %). These preliminary results from Vorgodå indicate that sediments containing more iron and aluminium than normal river sediments from the area are being deposited today, especially in the quietest environments in the river. The sediments thus seem to reflect some of the changes in river water chemistry in Vorgodå (cf. Jacobsen 1976). Still the question remains open, as to what extent these unconsolidated deposits will be transported further downstream towards Ringkøbing fjord (in suspension etc.) as no information on the suspended sediment load in the river system is available at present.

#### *Sydligge parallelkanal*

River bottom sediments from Sydligge parallelkanal are much more muddy and richer in iron than sediments from Vorgodå. In contrast to sediments from Vorgodå the deposits in Sydligge parallelkanal often have iron in the reduced state at the sediment-water boundary. In the vicinity of the outlets from the five pumping stations (see Kristiansen, 1976, fig. 1) the river sediment normally has a high ochre content giving a red colour on the sediment surface some distance downstream. However, this type of deposit is rapidly (within a few hundred metres) replaced by a muddy deposit, grey or black in colour, containing reduced iron. Reduced sediments quite often occur on one side of the river, while oxidized sediments are present on the other. Reduced iron compounds are found everywhere in Sydligge parallelkanal a few cm below the sediment surface in the areas where ochre is present at the surface.

This reduced environment (low redox potential) in the sediment is

probably caused, at least partly, by the supply of sewage to Sydlige parallelkanal from, for example, the small river Ganerå (cf. Kristiansen 1976).

The iron-rich sediment vary in thickness from a few cm to  $\frac{1}{2}$  m (locally more). In many cases the deposit is relatively homogenous, but at a number of localities there are vertical profiles with layers of iron-rich sediment a few centimetres thick separated by thicker sand layers. This layered sediment sequence is present within the westernmost 2–3 km of Sydlige parallelkanal, but does not occur at all localities. Normally, only a single iron-rich layer is found, but up to 4 layers, separated by distinct sand layers, occur in the vertical sequence at some localities. The iron-rich deposits are almost free of sand, and are accordingly assumed to represent a quiet sedimentary environment in Sydlige parallelkanal, where the normal pumping activity has supplied the sediment with iron. The separating sand layers, which are relatively thin (20–30 cm), are well-sorted, coarse sand. The sand layers are therefore believed to correspond to shorter periods where the depositional environment was agitated (for example during storms). It seems surprising that the unconsolidated, muddy iron-rich deposits were not removed or at least mixed with sand when (or before) the sand layers were formed. No explanation can be given to this at present. It does not seem likely that the well-sorted, coarse sand material which is found 2–3 km from Ringkøbing fjord has been supplied to the river bottom from the fjord. Another possibility which must remain open at present is that the sand originates from the dikes which surround Sydlige parallelkanal.

Chemical analyses of the bottom sediments from Sydlige parallelkanal show that the ochre contains 6–21 %  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , about half of which is ferrous iron. The  $\text{Al}_2\text{O}_3$  is 1–2 %; S (total) ca. 0.2 %; and loss on ignition 12–24 %. The reduced iron sediments have slightly higher loss on ignition (20–30 %), but considerable deviations from this average are common. The iron and aluminium contents are similar to the values found for the ochre, but ferrous iron here makes up  $\frac{3}{4}$  of the total iron content. The sulphur content is normally less than 1 %, but higher values (ca. 2 %) are found locally.

The recent bottom sediments in Sydlige parallelkanal reflect an intense supply of iron (both ferri- and ferrous iron) which originates from the drained Skjernå delta (see Kristiansen, 1976). Shortly after the iron is deposited in Sydlige parallelkanal it is reduced to ferrous iron, which may permit higher concentrations of iron in solution to be transported further downstream towards Ringkøbing fjord as ferrous iron is more soluble. No quantitative data on the transport of suspended material through Sydlige parallelkanal is available, and it is therefore uncertain if the iron-rich bottom material is transported to the fjord.



## Recent sediments from Ringkøbing fjord

Mapping of the bottom sediments in Ringkøbing fjord has until now only included about a third of the fjord area, namely its south eastern part adjacent to the outlets of Skjernå and Sydlige parallelkanal. Fig. 2 shows the localities of sampling, the lithology, and the thickness of the upper sediment layers. It appears from the map that the coarsest material occurs around the outlet of river Skjernå and otherwise at near-shore localities. The iron content in these coarse deposits (gravel, sand) is normally low and often only visible as a slight brownish colour on the grain surfaces. Outside this zone the grain size decreases, as could be expected, and silt and clay sediments are dominant. Corresponding to the decrease in grain size an increase in the iron (ochre) content is observed. The ochre is found as a very loose and flaky deposit; at some localities part of this material was suspended in the lowermost 10–15 cm of the water column. The loose ochre layer is normally about 2 cm thick (locally up to 4–5 cm).

The general impression is that the iron-rich sediments from the southern part of the investigated area (Falen Dyb) have the lowest content of silt and fine grained sand, presumably because this area is relatively protected against water exchange between the fjord and the North Sea (fig. 1). Fig. 2 only gives a poor impression of the correspondance between water depth and sediment type, mainly because the depth contours do not show the actual depths (the last measuring was carried out in 1884–85). Instead the reader is referred to the cross sections fig. 3–7, where the actual depths are shown. The locations of the cross sections are indicated on fig. 2. Figs. 3–7 show that the most fine grained sediments and the highest iron contents occur in the deepest parts of the fjord, and that admixtures of silt and sand are common in shallow areas. Deposition of the fine grained ochre accordingly requires a quiet environment, and it is assumed that the same iron-rich deposit is also present in large parts of the remaining fjord area which has not yet been mapped. Figs. 3–7 also give an impression of the sediments just below the fjord bottom. Immediately under the zone containing ochre reduced iron compounds are present giving the sediments a dark grey to black colour. At this boundary between the oxidized and the reduced zone (Eh discontinuity layer, Fenchel and Riedl 1970) burrows from polychaete worms are common. The burrows reach to some 20 cm depth in the reduced zone, and they are normally covered by an oxidized crust of iron hydroxides. At the Eh discontinuity layer there is in most cases also a distinct lithological change, as the reduced sediment contains much more clay and silt than the oxidized zone. In the reduced sediment many dead *Mya* specimens are found in life position. These bivalves are distributed with the youngest (smallest) specimens immediately below the zone containing

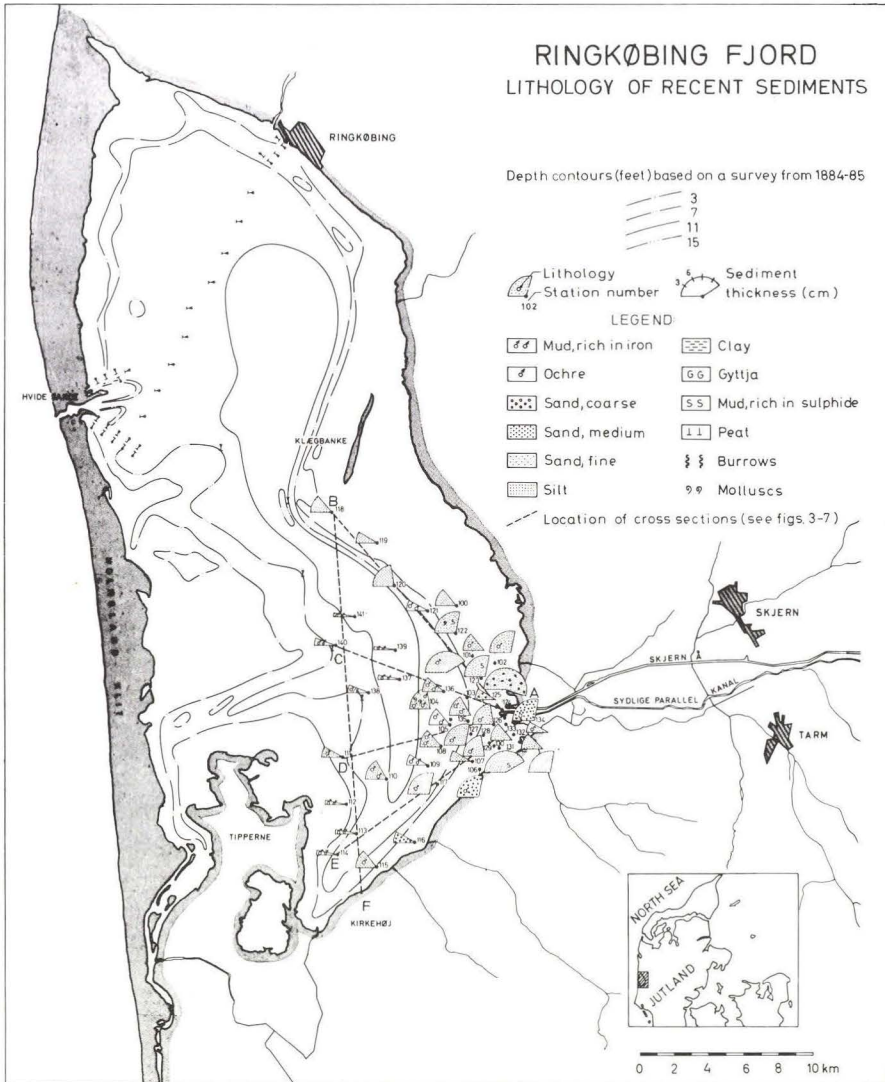


Fig. 2.

ochre while larger individuals are found at greater depths (down to 10–15 cm). The distribution of the molluscs is presumably characteristic for an earlier normal life situation at the fjord bottom, which has now deteriorated. Almost nowhere were living individuals found during this investigation, and it seems reasonable to suggest that the ochre pollution of the fjord might be responsible for the decrease in the makrobenthonic life. At present no age determinations on the youngest ochre-rich sediment have been carried out.

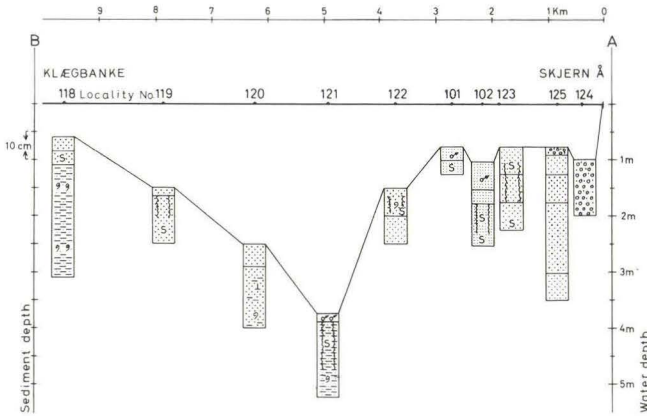


Fig. 3. Ringkøbing fjord.  
Cross section A-B, see fig. 2.

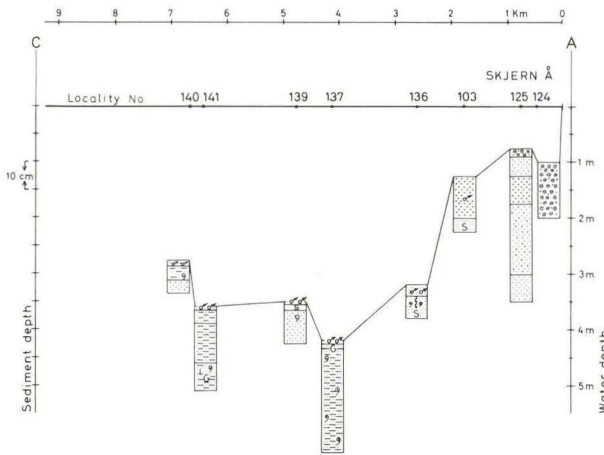


Fig. 4. Ringkøbing fjord.  
Cross section A-C, see fig. 2.

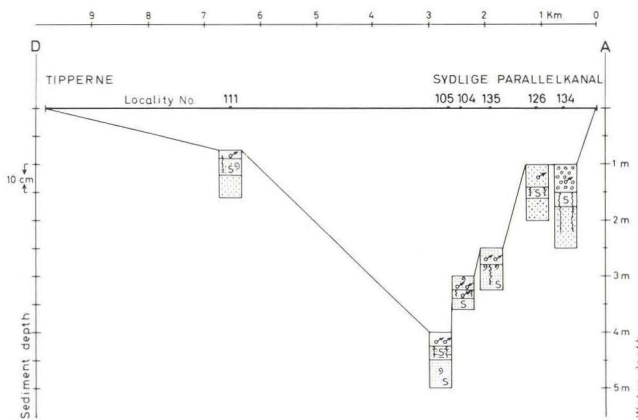


Fig. 5. Ringkøbing fjord.  
Cross section A-D, see fig. 2.



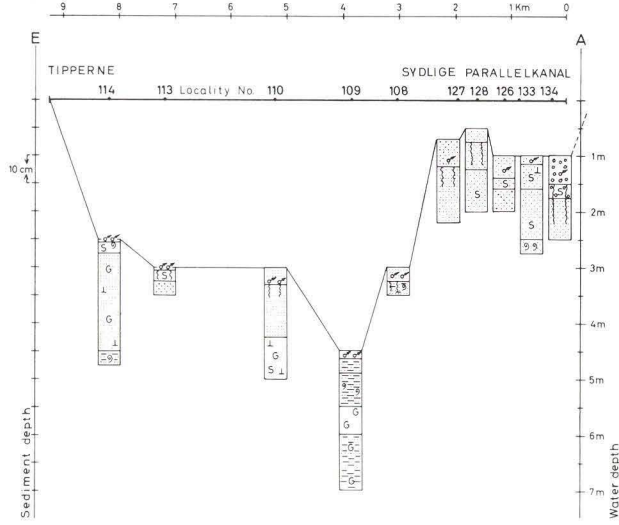


Fig. 6. Ringkøbing fjord. Cross section A-E, see fig. 2.

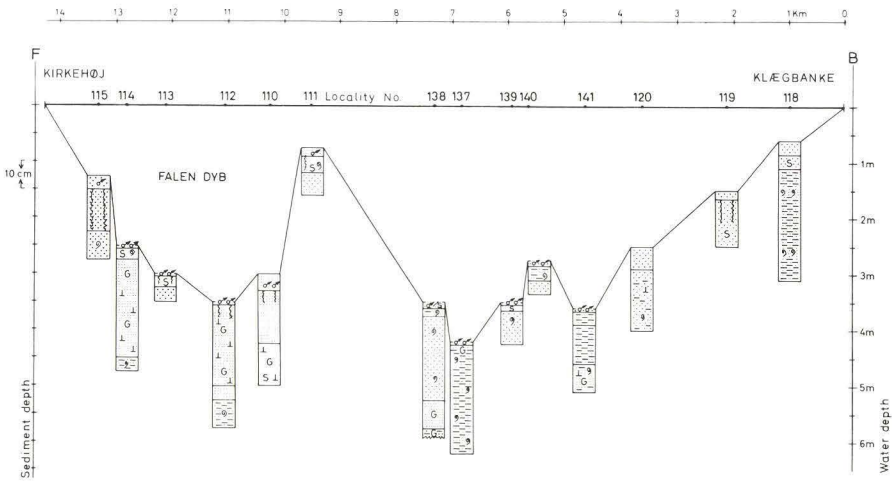


Fig. 7. Ringkøbing fjord. Cross section B-F, see fig. 2.

Chemical analyses (aqua regia) of sediments from Ringkøbing fjord have until now only been performed on the main sediment types. The iron content in a silty ochre deposit was 2.4 %  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ; in a reduced iron rich mud 3.2 %  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ; in gyttja, rich in iron, 3.3 %  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  was found. The more clastic sediments which occur a few cm below the ochre layer only contain 1 to 2 %  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . The iron content in the ochre layer is surprising-

ly low, and this underlines the need for more chemical data to supplement the field observations. The samples contain a little Al, presumably from the badly crystallized clay minerals which are soluble by the aqua regia treatment. Loss on ignition shows some variation (up to 6.4 %). The highest content of total S is 0.5 %. No pyrite peaks could be obtained by X-ray diffractometry.

## Conclusions

The preliminary results of the sediment investigation show that an increased content of iron is present in the youngest deposits in Vorgodå, Sydlige parallelkanal, and Ringkøbing fjord. Concerning the rivers no evidence can at present be given for a possible effect of the increased iron content on the biological environments. In Ringkøbing fjord the iron seems to have worsened life conditions for part of the makrobenthos within the total area so far mapped. Further quantitative data of river discharge and suspended load are needed in order to decide the importance of the different iron sources to the iron pollution of the fjord.

*Acknowledgements.* The author wants to express his gratitude to colleagues at the Geological Survey of Denmark for many inspiring discussions, and to dr. *J. R. Wilson*, Geological Institute, Århus University, for correcting the English manuscript.

## Dansk sammendrag

DGU's undersøgelser af vandløbsvand og sedimenter i Skjernå systemet og Ringkøbing fjord iværksattes med henblik på at afklare omfanget af og årsagerne til den okkerforurening af området, som i den offentlige debat har været gjort ansvarlig for bl. a. en nedgang i fjordfiskeriet. Hovedårsagerne til jernforureningen skal søges i de menneskelige indgreb i området, hvoraf de vigtigste er den nu afsluttede brunkulsbrydning, afvanding af engarealerne vest for Skjern (Skjernå deltaet) og udretning af vandløb. Nærværende afhandling må ses i sammenhæng med Jacobsens (1976) og Kristiansens (1976) publikationer, som giver de foreløbige resultater af de hydrokemiske undersøgelser i området. Vestjyllands specielle kvartærgeologiske og forvitringens forhold har resulteret i, at åerne har en karakteristisk vandtype med lav pH, lav hårdhed og højere jern- og manganindhold end i hovedparten af det øvrige Danmark. Dette har ført til, at betydelige mængder af jern og mangan i tidens løb er transporteret med vandløbene og afsat eksempelvis i Skjernå deltaet. Den miocæne, brunkulsførende serie, der findes under kvartærlagene i store dele af det undersøgte område, afsattes i et iltfrit sedimentationsmiljø, og her har betingelserne for akkumulering af f. eks. jernsulfidminerale været gode. Ved brunkulsbrydningen og engafvandingen er der sket en kraftig oxydation af disse sedimenter med bl. a. et kraftigt pH

fald til følge, som på en række måder kan spores i overfladevandets kemiske tilstand (se Jacobsen, 1976 og Kristiansen, 1976). Ved undersøgelser af bundsedimenterne i nogle af vandløbene og i fjorden kan effekten af de ændrede kemiske tilstande tydeligt spores. I Vorgodå forekommer således unormalt høje jernindhold og stedvis også høje aluminiumskoncentrationer i bundaflejringerne. – I Sydlige parallelkanal er påvirkningen af jernudledningen fra pumpestationerne endnu tydeligere. Jernets tilstandsform ændres hurtigt i bundsedimenterne (okkeren reduceres) sandsynligvis delvis på grund af den spildevandstilførsel, Sydlige parallelkanal modtager fra Skjern by. – I Ringkøbing fjord findes et slamagtigt okkerlag over den del af fjordbunden, der hidtil er kortlagt (ca.  $\frac{1}{3}$  af fjordens areal, omkring udløbet af Skjernå og Sydlige parallelkanal, se fig. 2). Jernindholdet i okkerlaget er forbausende lavt (2–3 %), men dog højere end i det lidt ældre sediment. Det synes påfaldende, at der lige under okkerlaget ret udbredt forekommer døde sandmuslinger, som er fordelt vertikalt i sedimentet efter størrelse (de mindste individer sidder øverst). Muslingerne formodes at repræsentere et normalt livssamfund, som ikke har kunnet overleve den seneste tilledning af okker. Alderen af okkerlaget er endnu ikke kendt. På de foreliggende data kan det ikke afgøres, hvor stor en del af jernet i fjorden der er tilført via henholdsvis Sydlige parallelkanal og Skjernå.

## References

- Andersen, S. A. 1963: Geologisk fører over Holmsland og dens klit. – København: Populærvidenskabeligt Forlag, 134 p.
- Jacobsen, J. 1976: Mobilization, transportation, and sedimentation of weathering products from the abandoned brown coal pits. (Iron pollution of the river Skjernå and Ringkøbing fjord, Western Jutland). – Danm. geol. Unders. Årbog 1975, pp. 57–74.
- Kock, B. E., Friedrich, W. L., Christensen, E. F. & Friis, E. M. 1973: Den miocæne brunkulsflora og dens geologiske miljø i Søby-Fasterholt området sydøst for Herning. – Dansk. geol. Foren., Årsskrift for 1972, pp. 1–57.
- Kristiansen, H. 1976: Hydrochemistry of the drained Skjernå delta. (Iron pollution of the river Skjernå and Ringkøbing fjord, Western Jutland). – Danm. geol. Unders. Årbog 1975, pp. 45–55.
- Mertz, E. L. 1924: Oversigt over de sen- og postglaciale Niveauforandringer i Danmark. – Danm. geol. Unders., II. række, 41, 50 p.





# Hydrochemistry of the drained Skjernå delta. (Iron pollution of the river Skjernå and Ringkøbing fjord, Western Jutland)

Henning Kristiansen

Kristiansen, Henning: Hydrochemistry of the drained Skjernå delta. (Iron pollution of the river Skjernå and Ringkøbing fjord, Western Jutland). *Danm. geol. Unders., Årbog 1975*, pp. 45–55. København, 1. september 1976.

Preliminary results of analyses of the drainage water in the Skjernå delta are presented.

The concentrations of weathering products in water from the separate areas drained by the five pumping stations are clearly different.

The leaching process shows a typical seasonal cycle caused by an intensified oxidation in the dry summer periods followed by a sudden mobilization of the accumulated weathering products in the rainy autumn and in winter.

The iron content in the drainage water from the areas seems to be present primarily as  $\text{Fe}^{2+}$ , or possibly as iron-humic complexes. Both the state of the iron and the reducing environment in the Sydlige parallelkanal may prohibit a precipitation of iron. It is therefore concluded that only liming of the ironbearing water is insufficient for precipitation of the iron before the outlet in the Ringkøbing fjord.

During 1962–1969, “Hedeselskabet” carried out a drainage project concerning the lower areas around the estuary of the river Skjernå (the Skjernå delta). The project was designed to control the flow of water by erecting dikes along the lower reaches of Skjernå and the river Ommeå as well as to control the standing water by instituting a drainage programme. This programme consisted of a system of open drainage canals in connection with five pumping stations each serving a drainage area. These pumping stations would then drain the standing water from the meadows to a canal running parallel to Skjernå (Sydlige parallelkanal). From Sydlige parallelkanal, the drainage water flows freely into Ringkøbing Fjord.

Since the draining of the low areas, an intensified weathering in the upper sediment layers has taken place. Especially important is the oxidation of pyrite ( $\text{FeS}_2$ ), whereby sulphuric acid ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) and ferrous sulphate ( $\text{FeSO}_4$ ) are formed (see also Jacobsen 1976, p. 58). The resulting chemical environment that emerges from the primary disintegration of pyrite allows

secondary disintegrations (decomposition of carbonates, silicates, etc.). As a result many chemical elements are mobilized and transported by the drainage water. Among these elements, the iron particularly contributes to the ochre contamination of Ringkøbing fjord via Sydlige parallelkanal. In relation to the effect of the pyrite disintegration in this area, the leaching of iron etc. caused by weak acidic water with dissolved carbon dioxide (Christensen 1962) might be of less importance.

Besides receiving drainage water from the pumping stations, Sydlige parallelkanal receives the natural water courses Ganerå and Tarm Møllebæk. These water courses carry unpurified domestic sewage from Skjern (about 10,000 person equivalents) and biologically purified sewage from a population of equal size in Tarm (Map of Pollution Sources, Ringkøbing amtskommune, November 1974). In addition to this, Ganerå also receives wastewater from an industrial plant (papermill).

Since the drainage project was initiated, DGU has studied the chemical composition of the drainage water. This was done partly through the analysis of water samples occasionally collected in canals in the different drainage sections during 1968 to 1974, and partly through systematic monthly sampling of water collected from the outlets of the pumping stations Ø, M and N, and from a locality in Sydlige parallelkanal. The systematic water sampling programme covers the period from May 1974 until today. From November 1974, the analytical programme included field measurements of pH, Eh and iron on millipore filtrated samples ( $< 0.45 \mu\text{m}$ ), and since August 1975, field measurements of  $\text{Fe}^{2+}$  have been taken.

## Geochemical differences within the drained area

### 1. Water analyses from the drainage canals and pumping stations

The drainage area can be subdivided according to the area served by each pumping station (see fig. 1).

The water sampling localities are shown on fig. 1, and the analytical data from the most important localities are listed in table No. 1.

The results show a clear distinction from subarea to subarea with regard to the content of weathering products in the drainage water. The most heavily charged area is the section served by pumping station M (No. 102.13). This section includes the area west of the mainroad and between Skjernå and Sydlige parallelkanal. The charge of weathering products of the period May 1974 to December 1975 has sometimes been so heavy that the pH values in the outlet water from the pumping station were below 4.5



Fig. 1. Map showing borings and surface water stations in the Skjernå delta.



(negative alkalinity) with a correspondingly high concentration of iron, manganese etc.

In the outlet from pumping station N (No. 102.14) a high level of weathering products has also been registered. Water analyses from the canals in the western part of this area show high concentrations of NaCl, the highest concentrations of weathering products, and sometimes also extremely low pH values (the data from these canals are not included in table 1).

However, extremely low pH values and negative alkalinity have not been found in samples from the total outlet of the pumping station (102.14), the reason for this might be that less-charged water from the easternmost areas is mixed with the sampled water before the discharge from the pumping station.

The concentration levels of weathering products in drainage water from the remaining areas (from the pumping stations Nos. 102.23–102.46–102.47) are moderate, and therefore it is assumed that these areas contribute only little to the iron pollution of Ringkøbing fjord. However, analyses of water samples from parts of the drainage canals within these areas show periodically high concentrations of iron, manganese, sulphate etc. and acidic conditions. Later results of chemical analyses of ground water confirm these differences within the particular subareas.

## 2. Analyses of ground water and sediments

A number of borings have been carried out in the Skjernå delta, and samples have been taken of the sediments for preliminary chemical analysis. The geology of the area and the preliminary results of the investigation of the sediments will be discussed in another section (Villumsen 1976).

The localities of borings are shown in fig. 1, and the chemical composition of some typical sediments from the most important borings is listed in table 3 to illustrate the geochemical conditions in the different parts of the drained area. The results obtained from the investigations of borings within the subareas from which the most charged drainage water originates show occurrences of peaty deposits with a variable content of reduced sulphur components in the upper layers.

In the areas drained by pumping stations Nos. 102.13 and 102.46, water samples near the groundwater table were obtained from borings carried out in December 1975. A determination of some chemical elements in these samples was performed, and the results are listed in table 2.

These preliminary results give a picture of the geochemical environment at the different localities. As illustrated in two of these borings (Nos. 14 and 17), the chemical composition of the ground water appears to be the result



of an intense disintegration process which includes a decomposition of sulphurous and nitrogenous substances, decomposition of silicates, and a corresponding release of iron, manganese, aluminium etc.

### The seasonal variation in the leaching

The analytical data obtained from the systematic sampling from May 1974 to December 1975 show a typically seasonal variation in the leaching of weathering products from the drained area. The concentration peaks are registered during the months of autumn and winter, and at the same time the greatest amount of water is pumped out (Henriksen 1973).

This seasonal cycle must be caused by intensified oxidation of sulphurous deposits in the dry summer periods followed by a leaching of the accumulated products when the increasing precipitation in the autumn makes the water rise and run out through the drainage system.

It cannot yet be decided whether the registered peaks in leaching represent typical winter maximum concentrations, or whether it is a question of concentrations partly determined by extreme climatic conditions. During the summers of 1974 and 1975 there were long spells of drought, and these conditions might have caused periods with especially low ground-water levels in the areas, and thereby new layers of pyritiferous deposits might have been brought into contact with air.

### Hydrochemistry of Sydlige parallelkanal

As mentioned previously, Sydlige parallelkanal receives the drainage water extracted by the five pumping stations. In addition it receives wastewater from the feeders Ganerå and Tarm Møllebæk. The wastewater does not contribute direct to the ochre contamination of Ringkøbing fjord, but there might be some effect of the sewage water in hampering the iron precipitation (see Villumsen 1976).

Field measurements of  $\text{Fe}^{2+}$  in water samples since August 1975 show that the majority of the iron  $< 0.45 \mu\text{m}$  exists as  $\text{Fe}^{2+}$  in the outlets from the pumping stations as well as in water in Sydlige parallelkanal (see Jacobsen 1976, pl. 3). Although a measurement of  $\text{Fe}^{2+}$  has not been performed before August 1975, the results of earlier analyses indicate a likewise reducing environment in some of the drainage canals as high concentrations of iron are often registered in water with a relatively high pH value. Under such conditions the iron must exist as  $\text{Fe}^{2+}$  (Hem 1970) or possibly in this special environment as iron-humic complexes (J. Frederiksen, personal communication).

Water samples filtered through different pore sizes (0.45  $\mu\text{m}$  and 8  $\mu\text{m}$ ) show that a certain part of the iron in outlets from pumping stations and especially in water from Sydlige parallelkanal (No. 102.1, see pl. 3 in Jacobsen 1976) occurs as particles of a size between 0.45  $\mu\text{m}$  and 8  $\mu\text{m}$ . This indicates a precipitation of iron in Sydlige parallelkanal. The continued precipitation of iron in Sydlige parallelkanal seems to be hampered by the reducing environment.

## Conclusions

Based on data available at present it can be concluded that leaching of iron etc. from the drained area is caused mainly by the oxidation of pyrite. A seasonal cycle can be demonstrated for the leaching of iron and sulphate, i.e. concentration peaks occur during autumn and winter, at the same time as the greatest amounts of water are pumped out.

Much of the iron in the drainage water is present as Fe (II) or possibly as an iron-humic complex, which makes a complete precipitation of iron by rising the pH values (using lime etc.) very difficult.

Large variations in the chemical composition of the drainage water from different localities have been demonstrated. The data permit a distinction between areas according to the charging of the canals with weathering products.

No conclusion can yet be drawn concerning the absolute ochre contribution from the drained area to Ringkøbing fjord, and it is not possible at present to determine whether the leaching of the drained area has culminated or to what extent it will continue in the future.

*Acknowledgements.* The chemical analyses are carried out by the staff of Geochemical Department. The drawing is made by *Helle Raben*, and *Dennis Woodward* has corrected the English manuscript.

The author wants to thank all the above-mentioned persons for valuable help.

## Dansk sammendrag

I årene 1962–69 udførte Hedeselskabet et dræningsprojekt omfattende de lave arealer omkring Skjern åens nedre løb.

Projektet indbefattede en inddigning af de nedre løb af Skjern å og Omme å og en sænkning af vandstanden i de lave arealer gennem et system af åbne drækanaler i tilslutning til 5 pumpestationer, der pumper det afdrænede vand op i Sydlige Parallelkanal, hvorfra det har frit udløb i Ringkøbing Fjord. Siden sænkningen af grundvandstanden er der sket en intensivning af forvitringen af de øverste pyritholdige

sedimentlag, og forvittringsprodukterne udvaskes via drænsystemet til Ringkøbing Fjord. Specielt betydningsfuldt i denne forbindelse er det opløste jern, som bidrager til okkerforureningen af Ringkøbing Fjord.

DGU har siden afvandingsprojektets udførelse fulgt den kemiske sammensætning af afløbsvandet fra de dræned arealer i Skjern å deltaet. Dels gennem analyser af vandprøver udtaget lejlighedsvis fra prøvelokaliteter i drænkkanalerne, og dels gennem månedlige prøver fra pumpestationerne st. nr. 102.23 (Ø), 102.13 (M), 102.14 (N) og fra en station i Sydlige Parallelkanal 102.1. Analyser af månedlige prøver er udført i perioden fra maj 1974 til dec. 1975. Resultaterne af undersøgelserne viser store forskelle i belastningen af drænvandet med forvittringsprodukter fra de enkelte afsnit i arealet. De største belastninger kommer fra arealet, der afvandes af pumpestation M (st. nr. 102.13). Fra dette areal har belastningen af afløbsvandet med forvittringsprodukter i vintrene 1974 og 1975 periodisk været så høj, at alkaliteten har været negativ (pH < 4.5), hvorved der samtidig optræder meget høje koncentrationer af jern og mangan i afløbsvandet.

Udvaskningen af forvittringsprodukter fra arealerne viser en typisk sæsonvariation. De største koncentrationer optræder i efterårs- og vintermåneder samtidig med, at de største vandmængder pumpes ud (Henriksen, 1973). Den sæsonmæssige variation må være forårsaget af en intensivning af oxydationen af svovlforbindelser (pyrit) i de tørre sommermåneder efterfulgt af en udvaskning af de akkumulerede forvittringsprodukter af efterårs- og vinternedbøren.

Bestemmelser i felten af indholdet af  $\text{Fe}^{2+}$  på milliporefiltrerede prøver af vandet ( $0.45 \mu\text{m}$ ) viser, at det opløste jern ( $<0.45 \mu\text{m}$ ) primært forekommer som  $\text{Fe}^{2+}$  eller muligvis som jern-humuskomplekser (Hedeselskabet upubliceret rapport). Såvel jernets tilstandsform som et reduceret miljø i Sydlige Parallelkanal må vanskeliggøre en udfældning af jern alene ved en hævnning af pH-værdien (kalkning) inden udløbet i Ringkøbing Fjord. Der kan ikke på grundlag af de udførte undersøgelser drages konklusioner om de absolutte mængder af udvasket jern til Ringkøbing Fjord, ligesom det heller ikke er muligt på det foreliggende grundlag at afgøre, om udvaskningen af forvittringsprodukter fra arealerne har kulmineret.

## References

- Christensen, W. 1962: Betragtninger over den geokemiske udvikling i de øvre jordlag i Danmark. – Meddr dansk geol. Foren., 15, pp. 112–122.
- Hem, J. D. 1970: Study and Interpretation of Chemical Characteristics of Natural Water. – U. S. Geol. Surv., Water-Supply Pap. 1473 (2nd ed.), pp. 114–121.
- Henriksen, A. 1973: Rapport vedrørende okkerudledning i Ringkøbing fjord 1/7 1969–1/7 1973. – Hedeselskabet, unpublished report.
- Jacobsen, J. 1976: Mobilization, transportation and sedimentation of weathering products from the abandoned brown-coal pits. (Iron pollution of the river Skjernå and Ringkøbing fjord, Western Jutland). – Danm. geol. Unders. Årbog 1975, pp. 57–74.
- Villumsen, A. 1976: Recent iron-rich sediments in the Skjernå river system and in Ringkøbing fjord. (Iron pollution of the river Skjernå and Ringkøbing fjord, Western Jutland). – Danm. geol. Unders. Årbog 1975, pp. 31–43.



Table 1. Water analyses from localities with monthly sampling.

Station No.	Date	pH field	pH lab.	Alk. meq/l	Cl ppm	SO <sub>4</sub> ppm	PO <sub>4</sub> ppm	NO <sub>3</sub> ppm	NH <sub>4</sub> ppm	K ppm	Mg ppm	Ca ppm	Fe <8 $\mu$ m ppm	Mn ppm	SiO <sub>2</sub> ppm	KMnO <sub>4</sub> need	Al ppm
102.1	740521		7.0	1.06	48	81	<0.02	6.8	1.1	4.4	8.1	40	0.55	1.0	13	12	
-	- 0717		6.8	0.91	35	54	0.68	6.0	0.6	5.1	3.1	32	0.83	0.42	13	15	
-	- 0904		7.2	1.24	45	46	0.30	7.4	<0.1	4.1	5.4	29	0.53	0.28	12	14	
-	- 0930		6.6	0.77	37	80	0.03	12	0.6	6.3	6.1	41	0.75	0.56	14	17	
-	- 1103	6.9	6.5	0.86	40	92	<0.02	9.3	1.2	5.0	7.2	43	1.3	1.5	16	9	
-	- 1130	6.1	5.9	0.24	42	156	<0.02	19	2.0	6.8	10	52	7.1	3.4	16	10	
-	750108		6.5	0.79	42	71	0.02	14	0.9	5.9	5.8	38	2.1	0.80	12	13	
-	- 0208	6.6	6.8	0.81	34	43	0.02	16	<0.1	5.0	4.9	32	1.2	0.47	14	18	
-	- 0303	6.6	6.9	0.83	36	46	0.03	13	0.2	5.1	4.9	31	0.92	0.34	13	18	
-	- 0324	7.3	6.7	0.95	35	43	0.03	12	<0.1	4.1	4.9	31	0.76	0.33	14	10	
-	- 0429	7.2	6.9	1.00	34	46	<0.02	11	0.3	4.2	5.2	32	0.61	0.47	15	10	
-	- 0522	7.3	6.7	0.90	44	87	<0.02	9.9	0.7	4.4	7.7	39	1.4	1.3	13	10	
-	- 0825	7.0	6.9	1.08	37	44	0.03	8.7	<0.1	3.7	5.4	33	0.69	0.22	17	10	
-	- 0921	7.2	6.7	0.98	39	61	0.09	6.8	0.3	4.5	5.7	37	0.50	0.54	16	12	
-	- 1023	7.0	6.6	1.10	43	48	0.10	8.7	<0.1	4.4	5.5	33	0.75	0.18	16	12	
-	- 1122	6.3	6.4	0.62	42	110	0.02	27	<0.1	6.2	8.2	49	3.2	1.6	16	11	
-	- 1220	6.9	6.6	0.80	38	56		17	<0.1	5.1	5.9	38	0.58	0.44	16	9	
102.13	740522		5.8	0.21	114	465	<0.02	13	<0.1	5.7	41	102	12	15	19	8	
-	- 0719		4.2	÷0.25	115	410	<0.02	1.1	3.8	5.6	35	86	3.9	12	17	10	0.64
-	- 0904		6.4	0.68	101	346	<0.02	0	3.1	5.3	34	84	3.3	11	17	9	
-	- 1103	4.4	3.4	÷2.00	114	780	<0.02	0	9.4	6.3	53	147	48	25	34	11	7.8
-	- 1130	4.6	3.3	÷3.00	91	813	<0.02	34	9.0	5.1	42	162	57	28	44	13	12
-	750208	6.2	6.1	0.70	146	714	0.02	0	<0.1	7.0	54	137	77	24	31	45	
-	- 0304	6.1	6.2	0.35	164	695	0.02		9	7.4	57	222	59	20	27	19	
-	- 0324	6.5	5.5	0.23	90	448	<0.02	1.9	4.7	5.1	35	107	42	14	21	9	
-	- 0429	6.7	5.8	0.17	140	528	0.02	0	5.2	6.8	49	111	46	16	21	7	
-	- 0522	6.7	6.1	0.35	138	534	<0.02	0	5.2	6.6	46	114	0.67	16	20	11	
-	- 0624	6.3	6.4	0.45	129	412	<0.02	1.2		5.7	39	90	0.63	11	17	11	
-	- 0720	6.4	7.3	0.40	91	315	>0.02	1.9	1.6	3.5	30	78	2.6	6.5	15	11	
-	- 0825	6.2	6.3	0.73	106	321	<0.02	3.1	2.3	5.5	31	78	1.5	7.4	19	11	3.0

-	- 1023	5.6	5.0	0.05	106	499	0.03	0	5.4	5.7	43	102	9.0	13	23	7	
-	- 1122	6.4	6.3	0.65	75	362	0.03	2.9	2.9	5.3	25	89	49	12	21	11	
-	- 1220	6.6	3.6	÷0.45	148	722		3.5	11	7.0	57	143	76	20	35	9	<0.1
102.14	740719		6.1	0.55	538	298	<0.02	1.9	0.9	17	52	69	4.1	3.0	11	14	
-	- 0904		6.6	0.53	707	291	<0.02	2.1	0.5	20	62	69	1.1	2.2	9	16	
-	- 1103	6.4	5.9	0.41	254	390	<0.02	0	1.5	12	45	57	20	2.1	16	9	
-	- 1130	6.2	4.7	0.03	564	451	<0.02	9.3	2.0	23	70	96	32	3.8	23	10	1.0
-	750106		6.2	0.35	192	333	<0.02	11	0.2	13	39	80	19	1.7	15	11	
-	- 0208	6.2	6.3	0.48	208	362	<0.02	11	<0.1	12	41	83	20	1.9	16	10	
-	- 0304	6.3	6.4	0.57	567	373	0.02	6.2	1.7	19	61	82	15	2.6	20	12	
-	- 0324	6.5	5.8	0.28	250	346	<0.02	6.8	1.7	13	42	77	16	1.7	16	9	
-	- 0429	6.8	6.4	0.79	934	374	<0.02	3.0	0.9	33	78	86	11	2.4	17	15	
-	- 0522	6.8	6.6	0.60	592	329	<0.02	4.7	1.0	20	56	80	5.7	2.4	14	15	
-	- 0624	6.9	6.9	0.47	251	209	<0.02	1.9		9.4	27	55	0.45	1.4	14	14	
-	- 0720	6.7	6.6	0.65	114	141	<0.02	0	<0.1	6.1	17	46	0.71	1.3	7	17	
-	- 0825	6.3	6.4	0.53	260	188	<0.02	3.7	0.2	9.8	29	59	1.6	2.0	14	15	
-	- 0921	5.4	5.5	0.15	240	322	0.07	2.8	1.2	11	39	73	1.1	2.5	17	10	
-	- 1023	6.0	6.0	0.31	212	228	0.03	6.2	0.4	12	35	64	1.1	1.8	15	9	
-	- 1122	5.9	6.0	0.32	403	411	<0.02	4.5	1.8	16	56	93	21	2.5	22	11	
-	- 1221	6.5	5.3	0.09	180	346		8.5	1.8	11	42	81	20	1.7	18	8	
102.23	741103	6.6	6.8	1.32	28	92	<0.02	6.2	0.9	4.5	7.7	48	4.0	2.1	17	6	
-	- 1130	6.8	6.5	0.98	30	137	<0.02	22	1.1	4.5	9.4	64	8.7	3.0	19	9	
-	750106	6.5	6.7	0.99	32	120	<0.02	11	1.2	4.7	8.2	53	11	2.6	17	7	
-	- 0208	6.6	6.7	1.01	28	110	<0.02	8.1	0.9	4.4	7.9	54	11	2.6	18	7	
-	- 0304	6.6	6.9	1.27	28	99	0.02	7.4	0.7	4.7	8.4	50	4.8	1.6	17	7	
-	- 0324	7.0	6.8	1.00	32	94	<0.02	6.8	0.6	4.3	6.8	46	5.6	2.5	16	6	
-	- 0522	7.0	6.9	0.99	30	88	<0.02	8.5	0.4	4.4	6.8	46	2.2	2.1	15	6	
-	- 0624	6.3	7.3	1.57	29	65	<0.02	4.0	>0.1	4.3	6.9	41	0.35	0.8	17	6	
-	- 0720	7.2	7.1	1.16	28	62	0.03	6.6	>0.1	3.9	6.5	41	0.57	0.8	15	6	
-	- 0825	7.0	7.5	1.16	29	60	0.07	6.2	>0.1	3.8	5.4	38	1.0	1.0	18	5	
-	- 0921	6.9	6.7	1.12	30	80	0.10	5.9	<0.1	4.5	6.6	45	0.56	1.7	17	8	
-	- 1023	6.8	6.6	1.23	28	80	0.05	6.8	>0.1	4.3	7.3	43	1.1	2.0	17	7	
-	- 1122	7.1	6.9	0.88	29	87	0.05	16	>0.1	4.3	7.9	48	4.5	2.1	19	8	
-	- 1221	6.8	6.7	0.91	38	54		10	>0.1	5.7	5.3	41	4.5	1.8	16	9	

Table 2. Groundwater analyses of some typical elements in solution and suspension.

Boring number	depth m	pH	Cl	SO <sub>4</sub>	Ca	Mg	ppm			< 8 $\mu$ m		total	
							NH <sub>4</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al	Mn	Fe	Mn	Fe
14		3.4	121	850	120	39	54	80	18	4.1	74	4.1	85
15		6.0	27	131	47	15	27	27		5.5	136	6.5	235
16	1.5-1.7	6.7	38	51	47	3.5	0.1	18		14	3.6	22	62
17		3.5	55	1386	420	42	7.4	57	12	34	45	34	50
18		6.1	24	130	82	3.8	0.2	18		5.0	23	5.6	35



Table 3. Sediment analyses.

Boring and depth m	Lithology		Colour	% of dry matter										loss on ignit. 1000°C	S total	S SO <sub>4</sub>	FeO (II)
				* I.R.	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Mn <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	aqua regia treatment				
Boring 1	sand	fine laminated	ligh grey brown-black	98.3	0.17	0.03	0.001	0.001	0.02	0.01	0.01	0.02	0.86	1.5			
0.10– 2.75				83.0	2.8	0.44	0.012	0.016	0.32	0.58	0.30	0.29					
Boring 3	sand	coarse/ medium	grey	99.6	0.08	0.05	0.003	0.002	0.02	0.01	0.01	0.01	1.0				
0.75–1.00				81.6	5.5	0.52	0.079	0.58	0.17	0.51	0.05	0.38					
Boring 4	clay/silt		grey	81.6	5.5	0.52	0.079	0.58	0.17	0.51	0.05	0.38	7.4	0.10			
0.15–0.50				91.9	3.3	0.54	0.14	0.22	0.14	0.04	0.04	0.03					
Boring 11	sand/ humus			91.9	3.3	0.54	0.14	0.22	0.14	0.04	0.04	0.03	4.3	0.41		0.92	
4–4.50				48.3	10.6	1.8	0.26	0.03	0.32	0.15	0.19	0.03					
Boring 12	peat	sphagnum	dark brown	48.3	10.6	1.8	0.26	0.03	0.32	0.15	0.19	0.03	36.5	4.1	1.4	3.6	
0–0.40				30.9	14.2	2.4	0.26	0.14	0.84	0.41	0.26	0.23					
3–3.50	peat			30.9	14.2	2.4	0.26	0.14	0.84	0.41	0.26	0.23	48.6	9.2	1.1	2.3	

\* Insoluble residue SiO<sub>2</sub> included.



# Mobilization, transportation and sedimentation of weathering products from the abandoned brown-coal pits. (Iron pollution of the river Skjernå and Ringkøbing fjord, Western Jutland)

Jens Jacobsen

Jacobsen, Jens: Mobilization, transportation, and sedimentation of weathering products from the abandoned brown-coal pits. (Iron pollution of the river Skjernå and Ringkøbing fjord, Western Jutland). *Danm. geol. Unders., Årbog 1975*, pp. 57-74, pls. 1-3. København, 3. september 1976.

Preliminary results concerning the effect of chemical weathering products from the abandoned brown-coal pits on the river system are presented. Two of these pits are especially contaminating. They include the Haunstrup pit with an outlet to Rimmerhusbæk-Vorgodå, and the Søby pit from where canals discharge into the river system Søbyå-Rindå. Concerning the soluble matter it must be concluded that the contamination from these two pits on the watercourses is intense, but subsides relatively quickly. The river transport of suspended iron is at present not known in detail due to lack of data. Therefore it cannot be excluded that suspended iron can contribute to the pollution of the river Skjernå, and especially Ringkøbing fjord.

During 1974 and 1975 a geochemical investigation of the river Skjernå was carried out by the Geochemical Department of the Geological Survey of Denmark. Preliminary results concerning the effect of chemical weathering products from the abandoned brown-coal pits on the river system are presented in this paper.

## Analytical data

The description is based on chemical analyses of river water (table 1), lake water (table 2) and sediments (table 3). (In table 1 only a minor representative part of the analyses is presented).

## Localization

An outline of the sampling localities is given in fig. 2 and pls. 1, 2 and 3.

#### Field procedures

The surface water was sampled in a plastic container just below the water surface. Subsamples were filtrated using 8  $\mu$  paper filter, and 0.45  $\mu$  membrane filter (N<sub>2</sub> pressure).

The pH value and the Fe<sup>2+</sup> concentration were measured immediately after the sampling.

The sediment was sampled at the sediment/water interface.

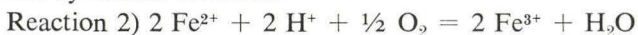
## The abandoned brown-coal pits and their relative contribution to the pollution of the river system

Many abandoned brown-coal pits exist in the area surrounding the river Skjernå. The two largest pits are the Haunstrup pit, located about 10 km southwest of Herning, and the Søby pit situated about 15 km south-southeast of Herning (see pl. 1).

During the mining of brown coal, sediments rich in metal sulphides were exposed to the atmosphere (cf. Villumsen 1976). These layers are at present accessible to chemical weathering exemplified by the pyrite disintegration:



and by further oxidation



It is seen from equation 1) and 2) that mobilization of metal ions (here Fe<sup>3+</sup> and Fe<sup>2+</sup>), SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> and H<sup>+</sup> occurs by the decomposition process.

As a result of the pH decrease a secondary decomposition may occur. Hereby Al, Si, Mn, Ca, Mg, etc. are mobilized from clay minerals, feldspars, carbonates and similar potentially alkaline compounds.

Most of the brown-coal pits in the area are partially filled with water. These water reservoirs will henceforth be referred to as "brown-coal lakes". The hydrologic relationship of the "brown-coal lakes" to the adjacent surface-water system is not known in detail. At Haunstrup and Søby, however, direct outlets exist (see fig. 2 and pl. 2).

During August 1975 water samples were collected from 24 of the abandoned pits (see fig. 1). These lake-water analyses (see table 2) illustrate the variability of weathering intensity within the pits in the area. In some of them the chemical composition resembles the ground water in the area e.g. 95.33, whereas others contain extremely acidic water, e.g. 84.15 and 95.30.

Pls. 1, 2 and 3 show the seasonal variation of the concentrations of pollution indicators (Fe, SO<sub>4</sub> and pH) at selected river-water stations.

By comparing fig. 1 with pls. 1, 2 and 3 it is possible to estimate the present pollutive influence of the different "brown-coal lakes" on the river system. This comparison leads to the following conclusions:





Table 1. Selected analyses of river water.

Station	Date	pH field	Alk meq/l	Cl ppm	SO <sub>4</sub> ppm	HCO <sub>3</sub> ppm	PO <sub>4</sub> ppm	NO <sub>3</sub> ppm	NH <sub>4</sub> ppm	Na ppm	K ppm	Mg ppm	Ca ppm	Fe (<8 $\mu$ ) ppm	Mn ppm	SiO <sub>2</sub> ppm	KMnO <sub>4</sub> - need	Al ppm
84.4	740520	6.3	0.60	25	25	37		7.4	<0.1	13	3.5	3.9	21	0.61	0.08	9	6	
84.4	740717	6.7	0.42	28	44	26	0.05	13	0.5	14	7.5	4.1	24	0.82	0.06	10	24	
84.4	740905	5.8	0.64	26	32	39	<0.02	6.2	0.4	13	4.3	3.5	21	0.87	0.08	12	10	
84.4	740929	6.6	0.48	30	47	29	0.03	18	<0.1	14	8.1	4.1	28	1.3	0.10	11	29	
84.4	741102	5.8	0.52	31	40	32	<0.02	12	0.3	14	4.9	4.1	25	0.81	0.10	13	9	
84.4	741126	6.4	0.50	30	42	31	0.06	23	<0.1	15	6.7	4.1	27	0.92	0.10	11	23	
84.4	750106	5.4	0.43	29	36	26	0.05	19	<0.1	16	6.2	3.6	24	0.99	0.10	9	24	
84.4	750207	6.2	0.36	27	34	22	0.05	14	<0.1	13	5.2	3.7	23	1.1	0.12	11	14	
84.4	750303	6.7	0.46	30	33	28	0.03	12	0.4	14	5.5	3.8	22	0.84	0.11	12	12	
84.4	750324	6.5	0.47	27	35	29	<0.02	11	0.3	13	3.9	3.9	21	1.0	0.09	13	7	
84.4	750429	6.8	0.54	26	35	33	<0.02	11	<0.1	14	4.1	3.8	21	0.82	0.09	13	7	
84.4	750522	6.9	0.51	27	28	31	0.02	7.4	0.4	13	3.5	3.9	20	0.81	0.08	11	7	
84.4	750624	6.8	0.67	25	30	41	0.07	6.8	<0.1	13	3.3	3.6	20	0.45	0.06	8	7	
84.4	750720	6.6	0.69	18	31	42	0.09	6.2	1.0	13	3.8	4.1	23	1.4	0.10	13	10	
84.4	751023	6.9	0.57	20	34	35	0.31	8.5	<0.1	15	3.9	4.0	22	0.51	0.10	14	7	
84.5	740520	4.5	-1.60	26	192	0	<0.02	6.2	1.2	22	3.2	7.5	31	4.2	0.69	17	5	14
84.5	740717	4.2	-1.35	24	168	0	0.10	8.1	0.4	13	4.2	5.9	30	11	0.57	17	4	11
84.5	740905	3.8	-1.75	26	197	0	0.26	7.4	1.0	16	4.2	7.3	32	15	0.68	18	4	14
84.5	740929	4.3	-1.67	25	200	0	<0.02	11	<0.1	14	4.7	7.4	33	11	0.66	19	4	14
84.5	741102	4.3	-1.30	25	177	0	<0.02	8.7	0.5	14	3.3	7.1	31	12	0.58	19	4	13
84.5	741126	3.3	-1.80	24	174	0	<0.02	14	0.4	15	4.5	7.0	32	16	0.57	17	5	13
84.5	750106	4.1	-1.65	26	168	0	<0.02	17	<0.1	14	4.8	6.8	32	8.8	0.60	15	4	13
84.5	750207	4.6	-1.60	32	180	0	0.49	14	<0.1	21	4.1	6.9	32	12	0.59	17	6	
84.5	750303	4.7	-1.77	57	201	0	<0.02	12	1.5	35	4.3	7.4	31	22	0.64	17	7	13
84.5	750324	4.8	-1.90	33	202	0	<0.02	8.7	0.8	24	3.4	7.2	30	13	0.62	17	5	17

84.5	750429	4.5	-1.95	31	203	0	<0.02	12	0.3	16	3.4	7.4	32	13	0.70	19	4	
84.5	750522	4.4	-1.87	32	212	0	<0.02	12	<0.1	19	3.3	7.5	31	12	0.80	18	4	18
84.5	750624	4.3	-1.80	59	224	0	<0.02	8.1	<0.1	44	3.5	7.4	31	8.1	0.70	18	6	15
84.5	750720	4.1	-2.05	28	214	0	0.02	8.7	0.6	12	3.0	8.1	37	7.2	0.86	20	5	17
84.8	751023	3.3	-6.62	29	669	0	<0.02	0	1.8	13	5.5	18	95	110	2.7	40	10	40
84.9	740524	2.9	-29.00	19	2051	0	<0.02	0	<0.1	14	7.5	40	118	248	7.2	38	14	190
84.9	740717	3.1	-19.00		1348	0	<0.02	0	1.8	14	6.4	27	89	200	4.6	31	16	108
84.9	740905	2.2	-21.00	21	1544	0	<0.02	3.9	2.5	13	6.5	30	90	232	5.0	42	26	135
84.9	740929	3.0	-21.00	18	1523	0	<0.02	0	2.5	14	6.2	30	91	233	4.9	32	12	129
84.9	741102	3.0	-21.00	23	1509	0	<0.02	0	2.2	14	6.3	30	93	226	4.6	38	14	130
84.9	741126	2.9	-18.50	20	1314	0	0.03	0	1.7	14	6.6	28	85	197	4.3	32	15	117
84.9	741129	4.5	-21.00	22	1329	0	0.03	3.5	1.8	13	6.4	27	82	200	4.3	31	14	116
84.9	750106	3.2	-21.00	22	1450	0	0.02	9.9	<0.1	16	6.3	27	88	208	4.6	31	14	129
84.9	750207	3.1	-21.15	18	1638	0	0.10	0	<0.1	14	6.5	31	96	234	5.1	33	17	156
84.9	750303	3.2	-25.00	21	1697	0	0.02	3.1	1.4	14	6.8	32	97	234	5.2	33	17	129
84.9	750324	3.1	-25.00	20	1634	0	0.03	2.4	1.8	14	6.7	31	95	199	4.1	32	15	166
84.9	750429	3.2	-23.00	20	1816	0	0.05	0	1.6	14	7.0	32	95	227	5.2	33	13	155
84.9	750522	3.1	-24.00	19	1763	0	<0.02	4.2	1.4	14	6.7	32	97	242	5.3	33	15	166
84.9	750624	3.0	-26.65	20	1922	0	0.03	3.0	2.2	14	7.3	34	95	252	6.6	36	13	178
84.9	750720	3.0	-25.50	24	1830	0	0.05	4.0	1.8	16	7.4	37	111	240	5.9	36	17	168
84.17	751023	5.1	0.12	280	286	7.3	<0.02	2.9	7.7	244	9.4	7.7	29	15	0.73	18	63	7.6
84.18	751023	5.5	0.03	30	47	1.8	0.07	3.8	<0.1	113	13.7	4.7	14	1.3	0.08	12	4	

Table 2. The water-chemistry of the brown coal lakes.

Station	Date	pH lab	Alk meq/l	Cl ppm	SO <sub>4</sub> ppm	HCO <sub>3</sub> ppm	PO <sub>4</sub> ppm	NO <sub>3</sub> ppm	NH <sub>4</sub> ppm	Na ppm	K ppm	Mg ppm	Ca ppm	Fe(<8 μ) ppm	Mn ppm	SiO <sub>2</sub> ppm	KMnO <sub>4</sub> need	Al ppm
84.13	750729	3.5	-0.70	33	45	0	<0.02	0	0.1	13	2.2	1.3	5	1.4	0.09	4.0	3	3.0
84.14	750729	6.7	0.30	27	18	18	0.47	0	0.5	15	3.2	3.1	8	1.1	0.05	1.6	14	
84.15	750729	2.7	-33.50	27	2331	0	<0.02	2.5	2.5	18	6.8	40	108	246	8.0	35	16	250
94.40	750731	3.3	-1.00	30	321	0	<0.02	1.3	2.3	16	4.8	13	82	6.2	2.0	17	4	3.1
94.41	750731	6.3	0.17	22	47	10	0.70	0	<0.1	11	3.3	2.0	20	2.9	0.18	9.8	17	
94.42	750731	4.3	-0.15	34	68	0	<0.02	0	<0.1	15	3.4	6.8	18	<0.05	0.45	9.4	3	0.1
94.43	750731	5.9	0.11	18	53	6.7	<0.02	0	<0.1	8.6	1.9	2.9	20	<0.05	0.01	1.9	3	
94.44	750731	6.2	0.26	29	27	16	<0.02	23	<0.1	13	2.5	6.5	13	<0.05	>0.01	6.1	13	
94.45	750731	7.0	0.55	26	51	34	<0.02	0	<0.1	13	2.7	4.3	25	0.51	>0.01	11	11	
94.46	750731	6.6	0.16	22	42	9.8	<0.02	0	<0.1	11	1.9	2.8	18	0.12	>0.01	13	7	
95.25	750731	4.7	0.03	28	78	1.8	<0.02	3.7	0.8	12	4.3	3.7	28	0.05	0.10	10	13	
95.26	750801	3.5	-0.45	27	63	0	<0.02	1.1	0.7	11	2.4	3.9	12	0.07	0.37	22	3	0.4
95.27	750801	5.5	0.05	20	31	3.1	<0.02	2.1	<0.1	10	2.2	2.6	12	0.05	0.13	11	4	
95.28	750801	3.1	-1.60	27	204	0	<0.02	0	3.1	9.5	5.0	4.7	44	4.9	1.1	32	4	1.7
95.29	750801	2.7	-1.30	16	108	0	<0.02	2.2	1.6	8.1	3.3	2.1	14	1.5	0.21	3.9	3	2.9
95.30	750801	2.7	-6.10	27	553	0	<0.02	0	11	12	7.0	12	67	114	2.2	59	26	4.9
95.31	750801	3.4	-0.68	43	123	0	<0.02	17	0.4	11	9.4	5.2	39	2.7	0.55	8.9	4	1.2
95.32	750801	3.3	-2.08	22	263	0	<0.02	4.7	0.3	11	3.0	7.0	52	0.88	0.94	31	4	1.5
95.33	750801	6.3	0.49	30	20	30	<0.02	1.4	0.3	11	2.6	2.6	19	0.34	>0.01	3.1	35	
103.5	750731	6.5	0.22	26	26	13	<0.02	3.0	0.1	11	3.4	2.3	14	0.08	>0.01	2.4	8	
103.6	750731	7.0	1.23	33	11	75	<0.02	0	0.1	14	9.9	5.0	23	1.1	0.05	3.9	51	
103.7	750731	6.7	0.52	27	26	32	<0.02	0	0.1	12	3.0	3.6	18	2.1	<0.01	7.2	40	
105.7	750801	6.0	0.18	29	35	11	<0.02	0	0.5	12	6.5	3.3	15	0.42	0.02	1.2	34	
105.8	750801	5.8	0.11	20	69	6.7	>0.02		<0.1	8.6	3.2	4.5	28	<0.05	0.26	1.6	13	



Table 3. Sediment analyses (aqua regia).

Station	S1	S2	S3	S4	S5	S6
(% of dry matter)						
Insoluble residue	26.1	14.9	12.9	21.4	23.7	96.7
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	48.5	54.7	56.2	50.2	39.5	0.7
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<0.5	4.5	4.7	4.7	5.2	2.2
TiO <sub>2</sub>		0	0	0	0	<0.1
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	<0.1	0	0	0	0	0
Mn <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
CaO	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
MgO	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.1	0.1
Na <sub>2</sub> O	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1
K <sub>2</sub> O	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	<0.1
Loss on ignition (1000° C)	24.3	24.9	25.2	22.2	28.2	2.0
Loss on ignition (500° C)	13.5	12.6	12.5	12.1	22.9	2.0
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	11.7	14.2	14.5	12.9	6.4	0
Fe <sup>2+</sup>		0.9	0.9	1.2	3.8	0.2
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	<0.1					

1. The pits of Haunstrup and Søby clearly reveal the highest level of pollution.
  2. Some pits (e.g. 95.28 and 95.40) containing very contaminated water do not seem to affect the river system at present.
- Since the pits at Haunstrup and Søby are causing the highest contamination to the river system, these were studied in closer detail (the contamination from the Søby pit is described briefly).

### The pits at Haunstrup

The "brown-coal lakes" in the deposits of Haunstrup have two outlets towards the west, Haunstrupbæk and Nørrebæk. Both are tributaries of Rimmerhusbæk which is a tributary of the river Vorgodå (see fig. 2).

The lake system consists of a "central lake" close to the outlet to Haunstrupbæk, as well as several small lakes. Random analyses from the area suggest that the "central lake" is by far the most polluted lake. By comparing the water analyses from the "central lake" (84.15, fig. 1 and table 2) and "normal" river water (e.g. station 84.4, table 1) in the river Vorgodå the enormous differences in concentration show up (e.g. the iron content of 84.15 is 250 times higher than that of 84.4).

The progression of this acidic water through the river system will in the following be traced by the above-mentioned primary and secondary disintegration indicators (pH, Fe, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Mn, Al etc.):

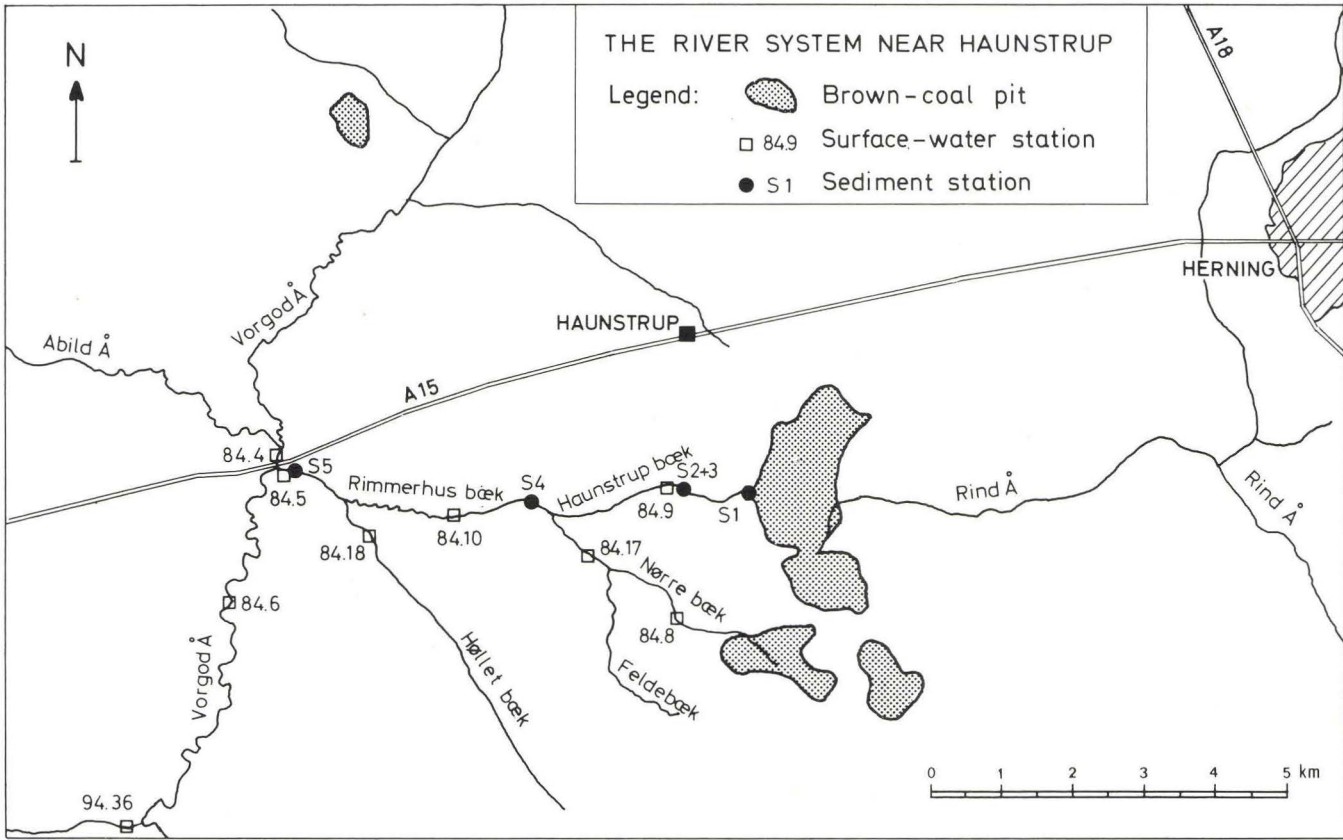


Fig. 2. The river system and sampling stations at Haunstrup.

*S 1 (see fig. 2 and table 3)*

The bottom of the upper part of Haunstrupbæk river (from the pit to station 84.9) is covered by an incrustation of a rather uniform yellow to brown colour. An analysis of a representative sample, S 1, showed that this crust consists predominantly of iron and sulphate, in all probability as alkaline iron sulphates and partly dehydrated iron hydroxides. The large amount of sulphate cannot be accounted for by known complex minerals (e.g. jarosit:  $M^I\text{Fe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$ ,  $M^I = \text{K}^+, \text{Na}^+, \text{NH}_4^+$ , etc.) as the amount of univalent ions is too small. X-ray diffraction showed only reflections of quartz and feldspar (arising from enclosed granules), which indicates that the iron and sulphate compounds are amorphous.

*84.9 Haunstrupbæk river (see fig. 2, table 1 and 3)*

Haunstrupbæk primarily drains the northern pits. A comparison of the analysis S 2 (sampled in rapid flow) and S 3 (sampled in a quiet environment) indicates that the precipitation of chemical material is independent of the river flow. The chemical composition of these samples compared to S 1 (1 km upstream) only significantly differs in the  $\text{Al}_2\text{O}_3$  content, which indicates that a precipitation of aluminium has started somewhere between S 1 and 84.9, in accordance with the rise in pH at this stretch of the river.

Likewise, a comparison of 84.9 750720 (see table 1) and of 84.15 750729 (see table 2) shows that Haunstrupbæk river is somewhat less polluted than the "brown-coal lake", but it is obvious that the water type is the same. Considering the "central lake" as the principal source of pollution (as mentioned earlier), it must be concluded that sedimentation and dilution (drainage water and ground water) have only a slight effect on the concentration level of the decomposition products in the river system from 84.15 to 84.9.

The contents of disintegration products at station 84.9 show only a slight seasonal variation i.e. the concentration levels reach a minimum during winter (markedly for  $\text{SO}_4$ , Mg, Fe, Ca and Mn) presumably corresponding to the added amount of precipitation in the wintertime.

The analyses of the different iron fractions,  $\text{Fe}_{\text{tot}}$  (unfiltered sample),  $\text{Fe} (< 8 \mu)$  and  $\text{Fe} (< 0.45 \mu)$  show that  $[\text{Fe}_{\text{tot}}] \simeq [\text{Fe} (< 8 \mu)] \simeq [\text{Fe} (< 0.45 \mu)]^1$ . This indicates that if any particles are transported by the river, they must be of colloidal size<sup>2</sup>. The lack of bigger iron particles

---

1.  $8 \mu$  and  $0.45 \mu$  refer to filter size.

2. colloidal particles = particles  $< 0.5 \mu$

in the water indicates that the precipitation is insignificant compared to the total iron transport (ca. 1 kg/min.)<sup>1</sup> in the river. The type (a hard crust) and the thickness (only a few cm) of the sediment seem to support this statement. The high Fe<sup>2+</sup> concentration in the river (see pl. 2) shows that reaction 2 (page xx) is only partly finished in this acidic medium (pH ~ 3,0) in accordance with the fact that the rate of reaction 2) is given as:

$$-\frac{d[\text{Fe}^{2+}]}{dt} = k [\text{Fe}^{2+}] p\text{O}_2 [\text{OH}^-]^2 \quad (k = 1.5 \times 10^{13} \text{ l}^2 \text{ mol}^2 \text{ atm}^{-1} \text{ min.}^{-1})$$

(Lee and Stumm 1960), i.e. the oxidation rate decreases rapidly with the pH value.

In this connection it can be mentioned that conservation tests<sup>2</sup> have proved that the saturation of oxygen in the water is about 40–50 %.

This high amount is related to aeration caused by the several small waterfalls in Haunstrupbæk river at its beginning.

#### 84.8 Nørrebæk river (see pls. 1–3 and table 1)

The Nørrebæk river functions as a direct outlet for the southern pits and has a chemical composition comparable to Haunstrupbæk river (84.9), although the river is less contaminated.

#### 84.17 Feldebæk river (see fig. 2 and table 1)

The junction of Nørrebæk river with the more alkaline water in Feldebæk river can be seen in the analyses of the different iron fractions:

$$84.8: [\text{Fe}_{\text{tot}}] \simeq [\text{Fe}(< 8 \mu)] \simeq [\text{Fe} (< 0.45 \mu)] \simeq 1.5 [\text{Fe}^{2+}]$$

$$84.17: [\text{Fe}_{\text{tot}}] \simeq 2 [\text{Fe} (< 8 \mu)], \text{ and } [\text{Fe} (< 8 \mu)] \simeq [\text{Fe} (< 0.45 \mu)] \simeq [\text{Fe}^{2+}]$$

In Feldebæk river the iron content in the water can be classified into particles ( $> 8 \mu$ ) and dissolved Fe<sup>2+</sup>. This indicates that the precipitating of iron is oxidation controlled. That is; when Fe<sup>2+</sup> is oxidized, the Fe<sup>3+</sup> ions thus formed immediately precipitates according to the very low solubility of Fe<sup>3+</sup> (pH ~ 5); this precipitation results in a considerable suspension transport.

---

1. the river discharge  $\simeq 60$  l/sec. (Jensen 1969)  
total iron transport = river discharge  $\times$  [Fe<sub>tot</sub>].

2.  $\frac{d[\text{Fe}^{2+}]}{dt}$  was followed in samples protected from the atmosphere.



84.18 Høllebæk river (see fig. 2 and table 1)

The analysis gives an indication of the quality of surface water in a water course that drains the area surrounding the pits of Haunstrup. By comparing the "background" (i.e. the unpolluted part) of Vorgodå river (84.4) one can observe a much lower pH value in Høllebæk river, but the concentrations of the other pollution indicators do not differ much from the values found at 84.4.

S 4 (see fig. 2 and table 3)

This sediment analysis indicates the same kind of the precipitation as at 84.9, 3 km upstream.

84.5 Rimmerhusbæk river (see pls. 1-3, fig. 2 and table 1)

At 84.5, 7 km from 84.9, there is still a distinct pollution (Fe, SO<sub>4</sub>, Mn and Al), while the amounts of Ca, Si, and Mg are about to reach the level of the "background" (84.4). The analyses of the different iron fractions

$$[\text{Fe}_{\text{tot}}] \simeq 2 [\text{Fe} (< 8 \mu)] \text{ and} \\ [\text{Fe} (< 8 \mu)] \simeq [\text{Fe} (< 0.45 \mu)] \simeq [\text{Fe}^{2+}]$$

reveal an oxidation-controlled precipitation course similar to what was found at 84.17.

The sediment analysis S 5 (see table 3) shows almost the same content of iron and aluminium as further upstream (compensating for insoluble residue), while the amount of sulphate is distinctly smaller. Again no crystalline iron compounds were found by X-ray analyses. The seasonal variations at 84.5 (see table 1) are the same as at 84.8 and 84.9. It is obvious, however, that one of the characteristic features of the Skjernå system, the seasonal variation of NO<sub>3</sub><sup>-</sup> concentration, is reestablished here (low during summer, high during winter). At 84.8 and 84.9 this variation was apparently choked by the reducing medium.

## Evaluation of the transport of disintegration products of the Haunstrup pit

Previously, qualitative descriptions revealed how the concentrations of disintegration products decrease through the whole of Rimmerhusbæk river. By the use of river discharge measurements in a simplified model it can

now be estimated how large a decrease in concentration one can expect if it was only a question of dilution (the course is covered by stations 84.9, 84.8, and 84.5).

The model contains the following hypotheses:

1. The natural background in the area between the pits of Haunstrup and Vorgodå can be compared with the background of Vorgodå (see earlier); that is, if the concentrations of Fe, SO<sub>4</sub>, Mn and Al at 84.4 are subtracted from the concurrent concentrations of the same parameters at 84.9, 84.8 and 84.5, a measurement of the real pollution can be obtained.
2. The relative river discharge at the different stations are expected to be constant in time.

### Data and results

From Hedeselskabet the following river discharge measurements are available (Jensen 1969):

690909: 84.9: 58 l/sec.,

690910: 84.9: 46 l/sec., 84.8: 14 l/sec.

From Ringkøbing amts vandvæsen the following river discharge measurements are available:

741126: 84.9: 58 l/sec., 84.5: 532 l/sec.

Multiplication of these flows with the background-corrected concentrations of decomposition products gives an estimation of the flux through a cross section of the watercourse (gram/sec.).

Here the concentration data for 741126 are used.

Mobilized material from 84.9 and 84.8	Retrieved at 84.5 (%)
Fe <sub>total</sub> : 11.6 + 1.7 = 13.3 g/sec.	12.2 g/sec. (92 %)
Fe (< 8 μ): 11.4 + 1.6 = 13.0 g/sec.	8.0 g/sec. (62 %)
SO <sub>4</sub> : 73.8 + 9.5 = 83.3 g/sec.	70.2 g/sec. (85 %)
Mn: 0.244 + 0.44 = 0.288 g/sec.	0.250 g/sec. (87 %)
Al: 6.73 + 0.63 = 7.36 g/sec.	6.91 g/sec. (94 %)

In comparing “% retrieved material” for the 5 parameters it is characteristic how identical these figures are for SO<sub>4</sub>, Mn, Al and Fe<sub>tot</sub>, whereas the figure for Fe (< 8 μ) are distinctly lower (the figures are to be seen in connection with the analytical uncertainty as well as with the more significant uncertainty (5–10 %) on the measurements of the discharge). Chemically one should not expect any particular precipitation of SO<sub>4</sub>, Mn, and Al in this acidious water medium. The amount and composition of the sediment also give this indication.

In natural watercourses, Mn (II) is thermodynamically unstable as far as oxidation is concerned (Morgan 1967). The transformation in an acid medium is slow unless it is catalysed. The fact that the loss of Mn cannot be traced in the sediment samples may partly be explained like this: The amount is relatively small (in comparison with Fe, SO<sub>4</sub> and Al), and the special chemistry of Mn may cause locally catalysed precipitations within small areas. This is supported by findings of Pyrolysite (MnO<sub>2</sub>) concretions, at stone salients, for example.

According to the quantitative ratio (% retrieved material), the drop in concentration down to watercourse for SO<sub>4</sub>, Al and Mn is primarily due to a dilution effect.

Concerning Fe, however, flocculation (formation of particles) and suspension transport are important. Only 62 % of the particles < 8 μ (~ dissolved iron at 84.8 and 84.9, see earlier) is retrieved at 84.5. This indicates that flocculation will occur.

Judging from the values of Fe<sub>tot</sub>, however, the main part of the particles formed is lead downstream, as only 8 % of the mobilized iron seem to precipitate. This is supported by the previously mentioned phenomenon that the relative quantity of iron particles = Fe<sub>tot</sub> ÷ Fe (< 8 μ) increase greatly downstream. This conclusion, however, is only to be perceived as a description of a tendency connected with the precipitation of iron as it is difficult to select a representative sample for Fe<sub>tot</sub> determination in this heterogenous system of river water and iron particles, whereby Fe<sub>tot</sub> is subject to some uncertainty.

## The pollution of Vorgodå river

### 84.4 Vorgodå river at mainroad A 15 (see table 1 and pls. 1-3)

The water quality of Vorgodå river is described just before the outlet of Rimmerhusbæk river through analyses from 84.4. The low alkalinity and considerable amounts of iron and manganese found are typical for watercourses in the western part of Jutland. The seasonal variations show the same pattern as at 84.5.

### 84.6 Vorgodå river, Vorgod, and 94.35 Vorgodå river, Nr. Vium (see pl. 1)

These stations describe Vorgodå after the outlet of Rimmerhusbæk river. In comparing 84.6 with 84.4 and 94.35 it is possible to estimate the pollution of the river about 2 and 8 km downstream.

Table 4.

Average 74/75	pH	Alk.	SO <sub>4</sub>	Mg	Ca	Mn	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>tot</sub>	Fe (< 8 μ)
84.4	6.7	0.52	35	3.9	23	0.09	11	2.4	0.91
84.6	6.1	0.28	60	4.6	26	0.20	12	5.0	1.60
94.35	6.5	0.43	48	4.3	24	0.17	12	3.9	0.68

It appears from the table 4 that Vorgodå river is markedly contaminated: The pH decreases about half a unit, the alkalinity is halved, and the concentration of primary decomposition products is nearly doubled.

The water chemistry of the most important tributaries to Vorgodå river is described in the following:

*94.36 Herborgbæk river by Egeris (see pls. 1-3)*

The water quality at this station corresponds to the background quality of Vorgodå (84.4).

*94.34 Viumbæk river before the brown-coal pits of Nr. Vium (see pls. 1-3)*

This station was for practical reasons established just before the brown-coal pits of Nr. Vium. The type of water is characteristic for the area and corresponds to 84.4.

The analyses from some of the brown-coal lakes at Nr. Vium 94.41 and 94.42 (see fig. 1 and table 2) seem to show that the weathering activity is very moderate: The water quality at 94.41 is comparable to that of Vorgodå river (84.4), and the brown-coal lake 94.42 shows only signs of moderate decomposition in the acidity and in the content of SO<sub>4</sub>, while the content of iron is too low to be determined. It is therefore not very likely that Vorgodå river is polluted by these pits.

*94.6 Vondå river at Troldhede (see pls. 1-3)*

Vondå is the last great outlet to Vorgodå river. The water quality is normal for the area (the same as 84.4). Only the pH is relatively high on the average.

Summing up, it can be concluded that the tributaries to Vorgodå river do not pollute the river significantly.



### 94.2 Vorgodå at the outlet to Skjernå (see pls. 1–3)

The chemical data from this station are very similar to those of 84.4 (about 20 km towards the North). Divergence from the average values (they are reasonable to use as there is only a slight seasonal variation) is of the same size as the analytical accuracy for most of the parameters. Even though the river is heavily charged by brown-coal contaminants the effect of this source is quickly drowned by the main contribution to the watercourse: seeping of ground water, drainage water and precipitation.

### *The mouth of Vorgodå river in Skjernå river at Borris*

A comparison between stations 94.3 (the background of Skjernå), 94.2 (the background of Vorgodå) and 94.4 (Skjernå after the outlet) shows that the water quality at the three stations is almost similar. If the average values of possible "pollution indicators" (see the chapter about Vorgodå) are compared, one obtains the following:

	pH	Alk	SO <sub>4</sub>	Mn
94.3	6.9	0.57	42	0.10
94.2	6.6	0.39	43	0.12
94.4	6.8	0.52	42	0.14

The background levels of SO<sub>4</sub> and Mn in Vorgodå and Skjernå river are similar. Vorgodå river is slightly less alkaline than Skjernå, but the difference between stations 94.4 and 94.3 is extremely small. The contamination with iron from Vorgodå river on Skjernå river is not significant as far as Fe<sup>2+</sup>, Fe (< 0.45 μ) and Fe (< 8 μ) are concerned. However, it looks as if the particle transport of iron is somewhat larger at 94.2 (see figs. 3 and 4). This particle transport measured as Fe<sub>tot</sub> ÷ Fe (< 0.45 μ) is a temporary measure and should not be considered as representing an exact value for the following reasons:

1. The large and irregular variations of the analytical values give an indication of a poor coverage of the real conditions outside the heavily acid watercourses. The reason for this may be that it is difficult to collect a sample that is representative, and/or that more frequent observations are needed.
2. It has not yet been determined what will further happen to the already precipitated iron compounds (cf. Villumsen 1976), but it is obvious that the soluble matters arising from the deposit do not directly pollute Skjernå river and Ringkøbing fjord.

## The brown-coal pits at Søby

The river system at Søby is mapped in pl. 1. The stations 95.23 and 95.7 are located at canals, which drain different "brown-coal lakes". Thus several direct outlets to the Søbyå-Rindå river system exist.

Although the river Rindå rises in the Haunstrup area, the data at 95.19 (see pls. 1, 2 and 3) seem to indicate that the pollution of Rindå from the Haunstrup pits can be disregarded at this location (ca. 30 km downstream), consequently the contamination of the river Rindå south of the mouth of Søbyå river must come from the Søby area.

As the main features of the pollution from the Søby pits are the same as found at Haunstrup, only some important differences are stated here:

1. The concentrations of decomposition products in the outlet water from Søby are significantly smaller (it is impossible to compare the flux as river discharge measurements in this area are lacking).
2. Ferrous ions represent only a minor part of the Fe ( $< 0.45 \mu$ ) content in the outlet water. Consequently the precipitation downstream is pH controlled, as the  $\text{Fe}^{3+}$  ion is extremely insoluble at higher pH values (Hem 1970).
3. The sediment analysis S 6 at 95.23 (see table 3) show that practically no iron compounds are found in the sediment in the upper part of the canal. This is in accordance with the visible impression i.e. no red-brown colour appears in the sediment.

## The effect of the Søby pits on the river system

To get an impression of the effect of the Søby pits on Rindå average values (74/75) of the weathering indicators are compared:

	pH	$\text{SO}_4$	Mn	Alk	Fe ( $< 8 \mu$ )
95.19	6.7	43	0.21	0.60	0.73
95.20	6.6	71	0.40	0.35	0.53

The pollution is obvious as regards  $\text{SO}_4^{2-}$ , Mn and alkalinity. It is, however, evident that the iron has dropped out of solution in accordance with the high pH value found at 95.20.

A similar comparison of 95.19 and 95.10 shows that the contamination is negligible as far as soluble compounds are concerned. However, the effect of the suspension transport on the final recipient, Ringkøbing fjord, must still remain an open question for reasons quoted earlier (see page 71).

*Acknowledgements.* The analyses were performed by the staff of the Geochemical Department. The drawings were made by *Helle Raben*. The X-ray analyses were made by *O. Bjørnslev-Nielsen*, University of Aarhus. *Dennis Woodward* kindly corrected the English manuscript.

## Dansk sammendrag

I Skjernåens opland findes adskillige nedlagte brunkulsgrave. Under brydningen af brunkul blottedes lag, som indeholdt metalsulfider (fortrinsvis svovlkis,  $\text{FeS}_2$ ). Disse lag, der nu ligger som tipper, er tilgængelige for forvitring, hvorved jern og sulfat mobiliseres og pH sænkes. Denne pH-sænkning kan give anledning til en sekundær forvitring af potentielt basiske stoffer (kalk, feldspat, lerminerale m. m.), hvorved f. eks. Ca, Al, Mn og Mg mobiliseres.

Ved hjælp af kemiske analyser på overfladevands- og sedimentprøver undersøgte brunkulslejernes påvirkning af å-systemet og Ringkøbing fjord, idet de tidligere omtalte forvitningsprodukter brugtes som belastningsindikatorer.

En sammenligning af forvitningsniveauet i og ved de respektive brunkulsgrave (pl. 1-3) viste, at kun Haunstruplejet og Søby-lejet belaster å-systemet i nævneværdig grad på nuværende tidspunkt. Forureningen fra disse lejer undersøgte derpå nærmere.

»Brunkulsøerne« i *Haunstrup* har direkte afløb til Haunstrup bæk og Nørrebæk og via Rimmerhus bæk til Vorgod å (fig. 2). Haunstrup bæk og Nørrebæk er præget af ekstremt høje indhold af primære og sekundære forvitningsprodukter og en lav pH-værdi ( $\sim 3.0$ ). Trods gode iltningens betingelser er  $\text{Fe}^{2+}$ -indholdet i forhold til  $\text{Fe}_{\text{tot}}$  (se pl. 3) temmelig højt. Dette vanskeliggør udfældningen af jern, idet  $\text{Fe}^{2+}$  er opløselig selv ved ret høje pH-værdier,  $\text{Fe}^{2+}$  må derfor først ved iltning omdannes til det tungere opløselige  $\text{Fe}^{3+}$ , hvis udfældningen skal foregå i det sure vand; udfældningen er således oxidationskontrolleret.

Suspensionstransporten af jern er neglignibel i de sure vandløb, men tiltager efterhånden som pH stiger ned igennem bæk-systemet før udløbet til Vorgod å (station 84.5). Den kemiske sammensætning af sedimentet ændres ikke væsentligt på denne strækning, men koncentrationen af forvitningsindikatorer falder betydeligt.

Dette koncentrationsfald skyldes for  $\text{SO}_4$ , Mn og Al primært en fortynding med ubelastet åvand. For jern derimod iagttages en flokkulation, og hovedparten af de dannede partikler føres videre med strømmen.

I Vorgod å kan belastningen fra Haunstrup-lejet kun spores få km nedstrøms. Dette gælder dog kun for det opløste stof, idet effekten af suspensionstransporten ikke kan bedømmes med tilstrækkelig sikkerhed på nuværende tidspunkt. Afløbskanalerne ved *Søby-lejet* er mindre belastede med forvitningsprodukter end afløbene ved Haunstrup-lejet (se pl. 1-3), men vandtyperne er ens.

Jern mobiliseres overvejende som  $\text{Fe}^{3+}$ , og som følge deraf bliver udfældningen pH-kontrolleret.

Dette indebærer, at der udfældes jern når forvitningsvandet møder mere basisk åvand (udløbet i Rind å). Belastningen med forvitningsprodukter kan for det opløste stof ikke spores efter Rind å's sammenløb med Skjern å.

Det må konkluderes, at brunkulslejernes belastning, hvad angår opløst stof, er intens, men så hurtigt afklingende, at indflydelsen på Skjern å og Ringkøbing fjord er neglignibel. Suspensionstransporten af jern kan have betydning for forureningen, selv om det ikke fremgår af disse foreløbige data.

## References

- Hem, J. D. 1970: Study and Interpretation of Chemical Characteristics of Natural Water. – U. S. Geol. Surv., Water-Supply Pap. 1473, 2nd ed., pp. 114–121.
- Jensen, J. L. 1969: Unpublished results.
- Lee, G. F. and Stumm, W. 1960: J. Amer. Water Works Assoc., 52, pp. 1567.
- Morgan, J. J. 1967: Principles and Applications of Water Chemistry. – Faust, S. D. and Hunter, J. V. (Eds.), pp. 561–624. New York, Wiley.
- Villumsen, A. 1976: Recent iron-rich sediments in the Skjernå river system and in Ringkøbing fjord. (Iron pollution of the river Skjernå and Ringkøbing fjord, Western Jutland). – Danm. geol. Unders., Årbog 1975, pp. 31–43.



# Om Limfjordens postglaciale marine udvikling og niveauforhold, belyst ved mollusk-faunaen og C-14 dateringer

Kaj Strand Petersen

Petersen, Kaj Strand: Om Limfjordens postglaciale marine udvikling og niveauforhold, belyst ved mollusk-faunaen og C-14-dateringer. *Danm. geol. Unders., Årbog 1975*, pp. 75–103, tvl. 1–2. København, 3. september 1976.

An investigation of the ecological conditions during the Flandrian stage (Holocene) of the Limfjord, a marine strait traversing northern Jutland (Denmark) from the North Sea in the west to the Kattegat in the east, has been undertaken. The investigation was based on subfossil marine molluscs. The stratigraphical sequences were elucidated on the basis of beach gravel complexes, supported by C-14 datings of organic debris in the deposits. Two transgressions, occurring respectively in the Atlantic and the Subboreal, have been demonstrated. Species of molluscs hitherto known only from the Subboreal *Dosinia* beds in the Kattegat area have also been found in the western part of the fjord-area. Beds with *Donax vittatus* indicate that an open sea environment connecting the Limfjord with the Jæmmerbugt existed during the Early and Middle Subatlantic.

Limfjorden strækker sig i nutiden som et sund i øst-vestlig retning, 150 km gennem det nordlige Jylland fra Hals til Agger, forbindende Kattegat med Vesterhavet. Fjordens vestlige del er vidt forgrenet, opdelt i sunde og bredninger, medens den østlige del, fra Aggersund til Hals, er smal med kun mindre bugter.

Limfjordens nuværende forbindelse til Vesterhavet etableredes ved stormfloden i året 1825 – men fra historiske kilder ved man (Andresen 1856 p. 316 ff.), at der tilbage gennem tiden har været flere sådanne gennembrud med efterfølgende lukning. Efter beskrivelser der haves, har fjorden været kendt som “brak eller halvt salt Vand” på Erik Pontoppidans tid (1769, p. 1021). Det nævnes også i hans Danske Atlas, at Limfjorden indtog en fremtrædende plads som fiskefarvand for fersk- og brakvandsfisk op gennem middelalderen og begyndelsen af nyere tid.

Af de ældre omtaler har vel ingen som den i Snorres saga om Harald Haardraades flugt for Svend Estridsson år 1061 givet anledning til diskussioner om Limfjordens naturforhold. Beretningen går i korthed ud på, at Kong Harald under et hærtog i Limfjorden får bud om, at Kong Svend nærmer sig

østfra med en overmægtig flåde. Hos Snorre lyder det videre (i 1964-udgaven af "Kongesoger"):

»Kong Harald heldt med skipa sine lenger inn i fjorden, der han er breiast og som dei kaller Lusbreid (Løgstør Bredning<sup>\*</sup>). Der er det eit smalt eid lengst inne i vika mot Vesterhavet, og dit rodde kong Harald om kvelden. Men om natta, då det hadde vorti mørkt, lossa dei skipa og drog dei over eidet, og alt dette gjorde dei frå seg og seglbadde seg att føre dag og heldt nordetter langs med Jylland. Då kvad dei: Harald dansken radt – utor handa smatt ...«

Ud fra dette debatterede historikere i Norge og Danmark i forrige århundrede (Bricka 1869, 1871, Erslev 1873, Jørgensen 1870, 1876, Kruse 1869, Steenstrup 1875) livligt fjordens naturforhold. Hvor var det muligt for den norske konge på én nat fra Løgstør Bredning at bringe sine skibe ud i Vesterhavet?

Fra dansk side mente man, at flugten måtte være gået over Aggertangen ude i vest, hvorfra det vides, at der i år 1027 var havforbindelse, da Knud den Store kom denne vej med sin flåde hjem fra England. Aggertangen skulle da op mod år 1061, tænkte man sig, igen være lukket, og kun udgøre "eit smalt eid", hvorover skibene kunne trækkes. I Norge mente historikere, at Kong Harald var søgt ud over området ved Bulbjerg (Storm 1877 p. 122 ff.).

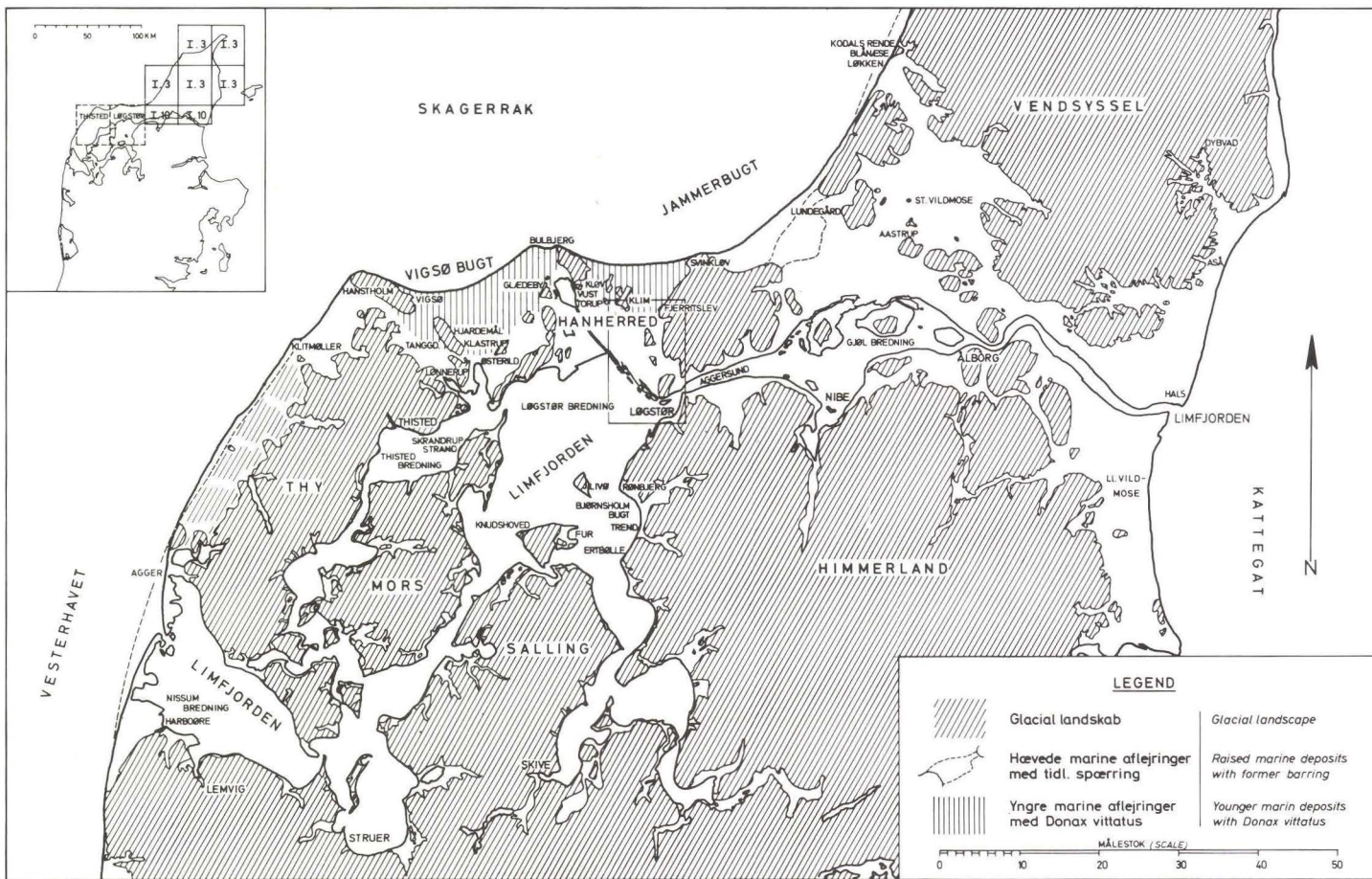
Også danske geologer (Jessen 1920) havde nutidens fordeling mellem land og hav for øje, og man anså det derfor for umuligt "selv for norske Vikinger" (citat Jessen *op.cit.* p. 62) at trække skibe over Hanherreds ujævne strandvoldsterræn til Vigsø- eller Jammerbugten.

Det første geologiske kort med angivelse af de hævdede postglaciale marine dannelser i de vestlige Limfjords egne blev fremstillet af J. Forchhammer 1858. I den tilhørende beskrivelse gives der ingen gennemgang af faunaen. Flere forfattere bidrog op gennem tiden med studier af aflejringerne fra dette område: Pingel (1828), Faber (1828), Forchhammer (1841), Steenstrup (1852 og 1857), Mörch (1871) og Johnstrup (1882). I 1884 publi-

\* Egentlig Livø Bredning, da Livø i ældre tid hed Lygh, heraf Lygs-breid – Lusbreid. I nutiden anvendes betegnelsen Livø Bredning kun for farvandet vest for Livø, medens det nordforliggende hedder Løgstør Bredning .

Fig. 1. Oversigtskort over Limfjordsområdet. I øverste venstre hjørne er vist DGU's kortlægnings-områder (jvf. teksten). I den vestlige del af Thy er udstrækningen af glaciallandskabet under flyvesandsdækket ikke endeligt fastlagt. Kortudsnittet »Løgstør-Fjerritslev« gengives i større målestok som fig. 4.

*Location map of the Limfjord area. In the upper left corner the DGU mapping areas. In the western part of Thy the extent of the glacial landscape below the dunes has not been established. The map section "Løgstør-Fjerritslev" is shown on Fig. 4.* ▷



K. STRAND PETERSEN

D. G. U. 1975



ceredes Jonas Collins bog "Om Limfjordens tidligere og nuværende Fauna", hvori er nævnt 77 arter af skalbærende mollusker fra de hævdede marine lag.

Den nordøstlige del af Limfjordsområdet er behandlet i kortbladsbeskrivelser (Jessen 1899 og 1905). I de vestlige Limfjordsegne foretog V. Nordmann i 1902–1903 undersøgelser med prøveindsamlinger og profilopmålinger. Det subfossile molluskmateriale fra disse undersøgelsesrejser er i slutningen af 60'erne også blevet gennemgået af konservator Erna Nordmann og mag.scient. Leifur Simonarson. Herudover er molluskmateriale fra de vestlige Limfjordsegne indsamlet af Helge Gry under den geologiske kortlægning af området omkring Løgstør og Thisted (påbegyndt 1942). I egnen omkring Løgstør Bredning og i Hanherred er disse indsamlinger suppleret siden 1971 med det formål at udrede de pågældende aflejrings aldersfølge og niveauforhold. Hertil er der blevet foretaget C-14 aldersbestemmelser på DGU's og Nationalmuseets dateringslaboratorium; enkelte tidligere dateringer på materiale fra disse egne forefindes også (Krog & Tauber 1974).

Den viden om Limfjordens havforbindelser, der hidtil er publiceret, skal nu kort resumeres.

V. Nordmann nåede i 1905 (Jessen 1905) til den erkendelse, at i den nordøstlige del af Limfjordsområdet, i det nuværende sydlige Vendsyssel, havde man med en subfossil fjordfauna at gøre, der måtte have været adskilt fra havet i vest; dette nordøstlige område kaldte han Gjølbredning, omfattende områderne fra den østlige smalle del af Limfjorden ind over den nuværende Store Vildmose og ud mod Vestkysten ved Løkken. Karen Luise Knudsens undersøgelser over foraminiferfaunaen i Lundergaard området (Knudsen 1973) – se kortet fig. 1 – støtter denne tolkning. V. Nordmann fremhæver, at man vest for Gjølbredning, i Hanherred, finder Vesterhavformer (tavle 1 fig. 8) i *Tapes*-lagene med en så typisk art som *Donax vittatus*. Endvidere nævner han (Nordmann 1910), at man i dette område finder nogle af de arter, som ellers kun kendtes fra de fuldmarine *Dosinia*-lag ved Frederikshavn (Nordmann 1904).

Axel Jessen (1920) har gennemgået udbredelsen af Stenalderhavet i hele det nordlige Jylland. I dette arbejde finder man (p. 61) den vigtige konklusion af V. Nordmann, at den vestligste del af Limfjorden (Nissum Bredning) aldrig i førhistorisk tid har været en åben bugt mod Vesterhavet, da man i alle de hævdede skallag i Nissum Bredning området finder faunaelementer af udpræget fjordtype og, ifølge Jessen, ikke ved en eneste lokalitet omkring denne bredning stranddannelser af Vesterhavstypen.

Det vil derfor være rimeligt at antage, at der i ældre tid eksisterede en åben forbindelse mellem Limfjorden og havområderne vest for Skagen over Hanherred og det nordlige Thy. Dette vil være emneområdet for nærværende arbejde.



Medens det ikke tidligere på basis af faunistiske forhold har været forsøgt at vise nogen udvikling gennem postglaciertid af det her afgrænsede vestlige Limfjordsområde, har Helge Gry skitseret en sedimentologisk udvikling i sin afhandling om Stenalderhavets strandvolde i en del af Hanherred (Gry 1962). Det udredes heri, hvorledes opbygningen af strandvolde er foregået efter afsætningen af marin gytje inden for meget store dele af Løgstør Bredning området, og at strandvoldene er udformet i et ældre og et yngre kompleks. De yngre strandvolde må, ifølge Gry, være opbygget under forhold med åben forbindelse ud mod Jammerbugten.

Nærværende arbejde vil inden for egnen omkring Løgstør Bredning og Hanherred dels give nogle hovedtræk af ændringerne i niveauforholdene gennem dele af postglaciertiden, dels skildre en del af den faunistiske (: de skalbærende molluskers) udvikling i samme tidsrum.

## Lokalitetsbeskrivelser og faunistiske forhold

### *Alment om områderne i og omkring den sydlige del af Løgstør Bredning*

I egnene omkring Løgstør Bredning findes der flere steder strandvoldsdannelse. Tidligere marine områder forekommer fra Rønbjerg mod syd til Trend, fig. 1. Disse kan følges op til 7 km mod øst i det vestlige Himmerland omkring Bjørnsholm å og Trend å med strandvolde ud mod Bjørnsholm bugt. Oddedannelse på den sydlige del af Livø og vinkelforlandsdannelse på den østlige del af Fur har givet landskabsformer, der ligesom de tidligere omtalte strandvolde kontrasterer de udstrakte områder med marin gytje, der findes i de nu naturligt tørlagte vige. I kystklinter, som f.eks. på vestsiden af Fur sydøst for Knudshoved, fig. 2, ses ældre abrasionsflader på moræne med ovenpå liggende stranddannelser; hævnningen af området har stabiliseret de ældre marine afsætninger til marint forland.

### Lokalitet: Skrandrup Strand

På vestkysten af det nordligste Mors ind mod Thisted Bredning finder man fra Skærbæk klint til Skarrehage (fig. 1) et kompleks af strandvolde, der i den sydlige del, ved Skrandrup Strand, er opbygget, så de afskærer en lavning i terrænet – en tidligere lille bugt. I en kystskrænt træder dels tørv, dels ferskvands- og saltvandsgytje frem under strandvoldsdannelse. På forstranden i havniveau er fundet subfossile træstubbe *in situ*. Den sydlige del af skræntprofilen, der blev opmålt af Helge Gry 1962 – se tavle 2 fig. 1 – giver nedefra op efter følgende succession: Sand - Tørv *s. I.* – *Cardium*-gytje – Ferskvandsgytje med talrige *Limnaea* – Tørv *s. I.* – det hele overlejret af strandvold. Strandvoldsmaterialet består af op til hovedstore sten, her-



Fig. 2. Kystklint på den vestlige del af Fur set fra Knudshoved mod sydøst. Pilene angiver en abrasionsflade på glaciale dannelser under postglaciale marine sand- og grusaflejringer. Foto 11.3.1975 KSP.

*Costal cliff facing southwest on the western part of the Isle of Fur (see Fig. 1), seen from Knudshoved, southeast. Indicated by arrows: A marine plane on top of glacial deposits, below Postglacial marine sand and gravel. Photo 11.3.1975 KSP.*

iblandt en del cementsten, der forekommer på egnen, som i den sydforliggende Skærbæk klint, der er opbygget af glacialdeformerede dele af molerserien. Profilet på fig. 3 A, er baseret på søjleprofilerne I–VI, der er fordelt over 70 m dækkende hele skræntprofilet. Herud fra kan udviklingen beskrives som følger:

Den nedre tørv er fundet (ved boring) til kote  $\div 2$  m, dér hvilende på sand. Den opnår i den centrale del af det nuværende klintprofil en mægtighed af 1,5 m, mens mægtigheden mod randen er betydelig mindre. Fra profil IV har Jens Stockmarr, DGU, foretaget en serie pollenanalyser. Heraf fremgår, at der ved basis findes *Cyperacé-tørv*, der opad går over i *Phragmites-tørv*. Fra den nedre tørv mellem profil I og II i kote  $\pm 0$  m er C-14 dateret stub af elm, *Ulmus* sp.:  $5510 \pm 120$  f.Kr. (fig. 7 og tab. 2), og fra profil V i kote  $+ 0,5$  m vedstykke af lind, *Tilia* sp.:  $5090 \pm 110$  f.Kr.

Den overlejlende *Cardium*-gytje er domineret af *Cerastoderma edule*,

*Scrobicularia plana* og *Peringia ulvae* – se tabel 1,1. Enkelte *Ostrea edulis* findes spredt gennem profilet i den marine gytje. Indholdet af Cyperacé- og *Phragmites* pollen er ringe i denne del af aflejringen. En datering af de nedre lag af marin gytje i profil IV kote + 0,5 m giver tiden  $4700 \pm 100$  f.Kr. for den marine transgression. Top af de marine gytjelag i profil VI kote + 1,5 m giver dateret tiden  $4310 \pm 105$  f.Kr. for afspærringen af området fra marin påvirkning. Den marine gytje fandtes op til kote ca. + 3,0 m af Helge Gry i 1962 – se tavle 2 fig. 1.

Ferskvandsgytjen, som i profilerne II–VI er fundet overlejrende den marine gytje, indeholder sneglearter som: *Valvata cristata*, *Lymnaea pereger*, *Bathymophalus contortus*, *Gyraulus albus*, *Gyraulus crista* samt *Acroloxus lacustris*. I den øvre del af ferskvandsgytjen findes enkelte *Hydrobia* sp. samt frø af *Ruppia* og *Potamogeton*, hvis pollenkorn også præger denne del af serien sammen med *Pediastrum* og *Ceratophyllum* hår – hvorfor lag indenfor dette afsnit må afspejle svagt brakke forhold. Som det ses, fig. 3 A, afsluttes serien under strandvolden af tørv; i denne findes pollen af *Typha cf. latifolia*.

Resultaterne af pollen analyserne peger henimod, at omgivelserne til den tidligere lille bugt med de ovenfor gennemgåede aflejringer gennem atlantisk tid har haft en ensartet skovvegetation af lind og elm (30–40 % lind) med underordnet forekomst af hassel, eg og ask. El, der forekommer ret rigeligt især i den øvre del af gytjen og øvre tørv, har formodentlig vokset i kanten af mosen.

#### Lokalitet: Livø

På øens sydkyst ca. 700 m vestnordvest for Hesselbjerg Høj er et strandvoldskompleks udsat for marin erosion, hvorved blottes en underlejrende marin gytje, der med hensyn til sit indhold af mollusker viser lighed med den marine gytje ved Skrandrup Strand – se tabel 1, 1 og 2. Også på Livø overlejres de marine aflejringer af planterige afsætninger umiddelbart under strandvoldens grove materiale – se Helge Grys opmåling, tavle 2 fig. 2.

På fig. 3 B er angivet, hvor i den marine gytje to prøver til C-14 aldersbestemmelse blev udtaget. Af disse gav den ældste, i kote + 1,0 m, en alder på  $4470 \pm 105$  f.Kr., medens den marine gytje i kote + 1,5 m gav  $3960 \pm 105$  f.Kr. Der er således tale om en aflejring, der for den ældre dels vedkommende er samtidig med den yngre del af den marine gytje ved Skrandrup Strand. På Livø har den marine gytje, bestemt ved sit skalindhold, kunnet følges til en højde af + 3 m; gytje af samme karakter men uden mollusker har, ifølge Helge Gry, længere mod nord i profilet, kunnet følges til kote + 4,5 m – se tavle 2 fig. 2.



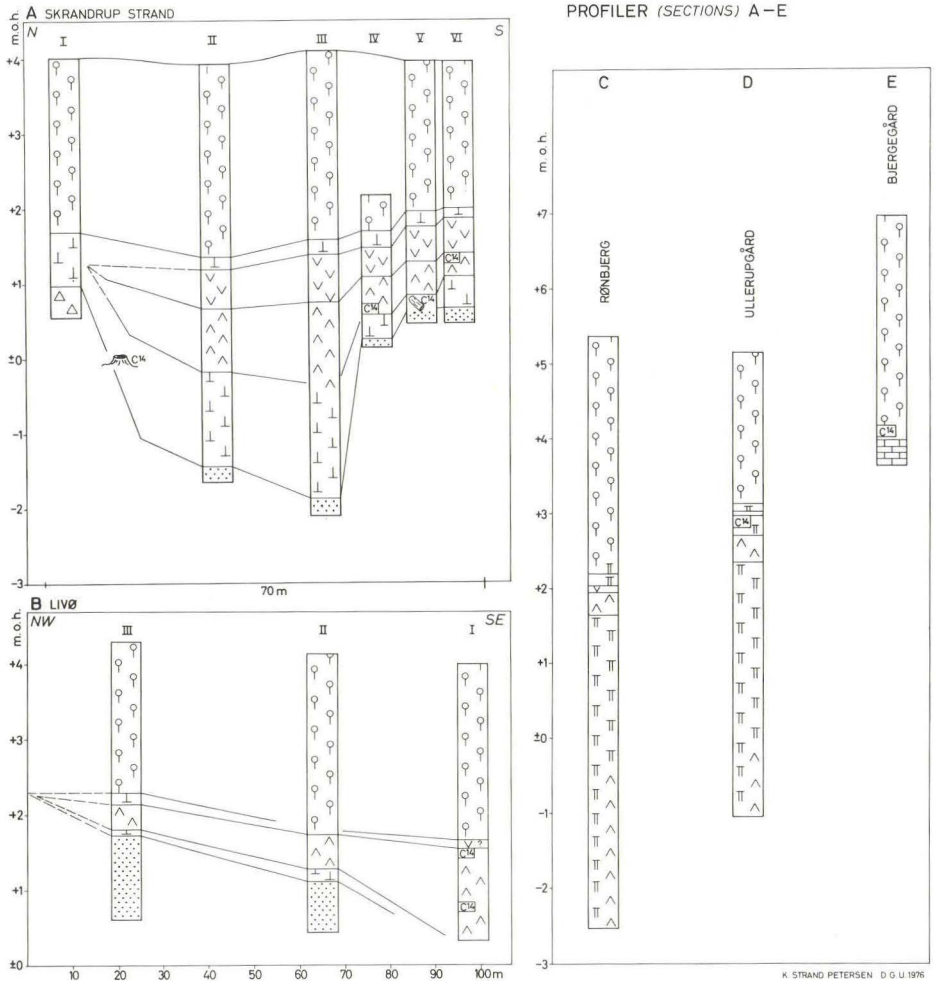


Fig. 3. Sammenstilling af de i teksten omtalte profiler. Legende se fig. 5. C<sup>14</sup> angiver placeringen af C-14 daterede prøver.

*Grouping of the sections A-E, which are based on excavations with supplementary borings. Legend see Fig. 5. C<sup>14</sup> indicates position of C-14 dated samples.*

**Lokalitet: Rønbjerg**

På vestkysten af Himmerland (østkysten af Løgstør Bredning) ca. 800 m nord for Rønbjerg Huse (fig. 1) findes under de derværende ældre strandvolde, marin gytje adskilt fra strandvoldsmaterialet ved organogent prægede aflejringer af ringe tykkelse. Heri findes i kote + 2 m, indslag af ferskvandsgytje, bedømt ud fra molluskerne – se fig. 3 C. Under den



marine gytje, der her er udviklet i en mægtighed af 0,30 m, fra kote + 1,60 m til + 1,90 m, ses i profilet marint sand og grus, der under kote  $\pm$  0 m ved boring er fundet i veksellejring med marin gytje i mindre lag på op til 2 cm's tykkelse til kote  $\div$  2,5 m, (serien ikke gennemboret).

Det fremgår således af profilet, at der inden afsætningen af det øvre, 30 cm tykke lag af marint gytje har været afsat grovere materiale i fuldmarint miljø. Denne afsætning må anses for at være foregået i åben kontakt med bredningen (Løgstør Bredning).

#### *Det nordlige område. – Hanherred*

Den fra Rønbjergprofilet kendte succession genfindes i profiler fra det nordlige område (Hanherred) sydvest for Fjerritslev. På kortet, fig. 4, ses områder mellem Fjerritslev og Løgstør. I de tidligere marine områder er isopak kortets mål angivet i forhold til nutidigt havniveau. Af boringer indenfor disse fremgår det, at sand og ler af marin oprindelse oftest hviler direkte på den prækvartære overflade, som udgøres af Kridt-Danien kalkbjergarter. Centrifugalt fra "kalk øerne" i det postpleistocæne arkipelag kan følges en udpræget abrasionsflade, og der er mellem "øerne" dybe render. Helt ind mod landskabet af pleistocænt materiale i øst er der placeret en række boringer fra Fjerritslev i nord til Aggersund i syd – se fig. 4 og 5. Af boringerne 60–63, fig. 5, fremgår, at der findes et uderoderet dyb i de prækvartære bjergarter under den nuværende rende i Limfjorden, hvis bundkote på dette sted er  $\div$  6 m. I boring 61 findes til kote  $\div$  30 m postglacialt marint sediment, dette bedømt ud fra molluskerne. Herunder følger ifølge Peter Konradi DGU, som har gennemgået prøver fra kote  $\div$  31,5 og  $\div$  33,5 for foraminiferer, smeltevandssand. Der forekommer overvejende kridtforaminiferer; de kvartære foraminifer-skaller, der næsten alle viser tegn på transport, synes at svare til Skærumhedeseriens *Portlandia arctica* zones foraminiferselskab. I sedimentet findes store mængder af oligosteginer, der må formodes at være udvasket af det omgivende kalkterræn – jvf. Arne Buch, i Petersen & Buch (1974 p. 85 ff.).

#### Lokaliteterne: Gjøttrup Have og Ullerup Gaard

Profilet A–B fig. 5 skærer på to steder mindre, tidligere bugter (Boring 3–5 og 18–20), der har strakt sig ind i det glaciæle landskab. I boring 4 findes successionen opefter: Marint sand – ferskvandsgytje – tørv, fra kote + 1 m til + 4,5 m. I boring 19 findes fra kote  $\div$  2 m til kote + 2 m: Marint sand – marin gytje – marint sand. Dette afspejler de havniveauændringer, der er blevet beskrevet på de ovenfor nævnte lokaliteter.

Vi befinder os i det indre af det område, som blev lukket under første

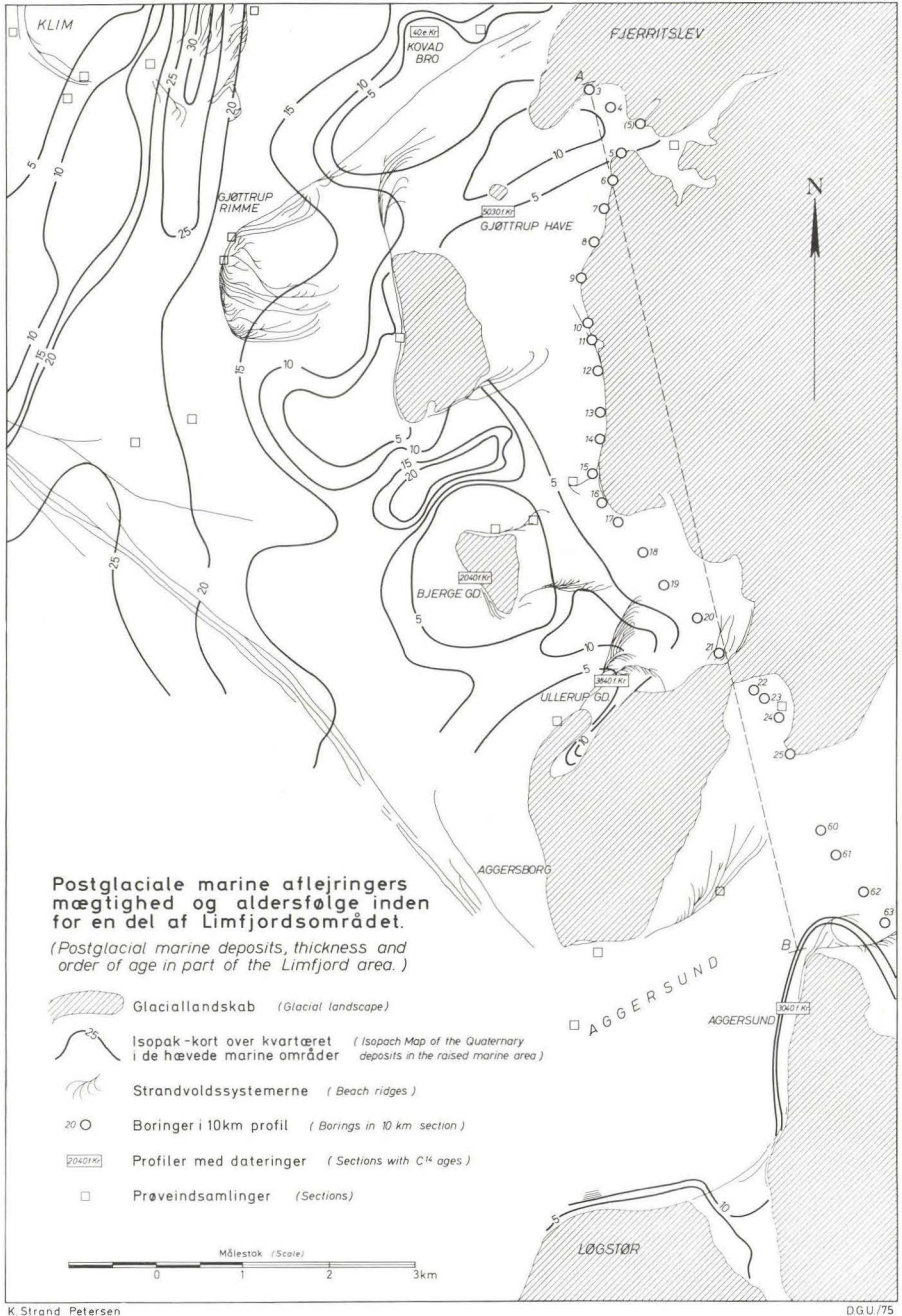


Fig. 4.

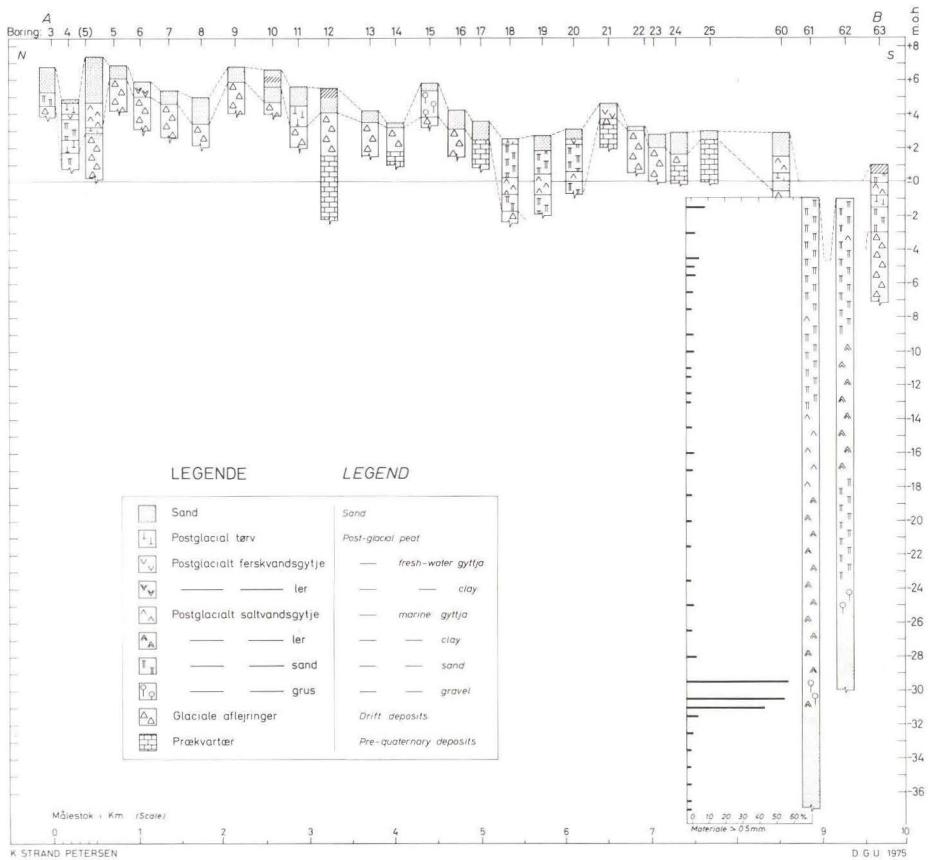


Fig. 5. Boreprofilerne i randen af det glacielle landskab projekteret på linien A-B på fig. 4. To mindre tidligere bugter fremgår af boring (3–5) og (18–20). I borerne 61 og 62 findes postglacielle marine sedimenter, til kote  $\div$  30 m i boring 61, i en dyb rende netop under den nuværende Limfjord.

*The section along the old coastline projected on the line A-B on Fig. 4. Two minor creeks are seen from cross sections in the borings (3–5) and (18–20). In borings 61–62, postglacial marine deposits are found at 30 m below sealevel, under the present Limfjord.*

Fig. 4. Kortudsnittet »Løgstør-Fjerritslev« se (fig. 1). Isopakkortet angiver mægtighed i meter. Det ses, at hen over de dybe render i det tidligere arkipelag (efter flakdan- nelser) er opbygget strandvoldssystemer udgående fra »øerne« (: glacial landskabet). Et ældre strandvoldssystem er opbygget mod nordøst ind mod glacial landskabet; og et yngre system er afsat mod sydvest: Gjøttrup Rimme, og mod syd: i Klimområdet. Resultatet af borerne i profilet A-B ses på fig. 5.

*The map section "Løgstør-Fjerritslev" (see Fig. 1). The contour interval of the isopach map is 5 m. It is seen how the beach ridges are formed over the trenches in the prequaternary surface. An older beach ridge complex is formed towards the northeast, with a younger towards the southwest – Gjøttrup Rimme, cutting the former complex – and towards the south in the Klim area. The results from the borings in section A-B are seen on Fig. 5.*



fase af en strandvoldsdannelse (Gry 1962) betinget af vinde og største frie stræk fra sydvest – se fig. 4. I dette område findes lokaliteten Gjøttrup Have, med en østersbanke i kote + 3–4 m, hvilende på moræne. Bankens fauna ses på tabel 1,3 og er dateret til tidlig atlantisk tid:  $5040 \pm 110$  f.Kr.

400 m nord for Ullerup Gd. er opmålt et profil, fig. 3 D, hvori der under strandvoldsdannelserne findes sammenskyttet organogent materiale i kote + 3,0 m. I det underliggende sandlag, med en tykkelse på 20 cm, der hviler på marin gytje, findes de i tabel 1,4 nævnte mollusker. En prøve af disse er dateret til  $3840 \pm 105$  f.Kr. Den marine gytje underlejres som ved Rønbjerg af sand fra kote + 2,4 m til ÷ 1,0 m (ikke gennemboret), med mindre indslag af marin gytje.

#### Lokalitet: Aggersund

Ved Aggersund ud for kalkværket på den vesteksponerede kyststrækning, fig. 4, findes nogle af de højestliggende strandvolde i det vestlige Limfjordsområde; koten for deres top er + 6 – + 8 m. I disse strandvolde af grus og op til håndstore sten, fortrinsvis flint, findes mængder af stærkt rullede østersskaller. Dateringen af disse til  $3040 \pm 95$  f.Kr. giver det tidligst mulige tidspunkt for dannelsen af disse strandvolde, idet dateringen svarer til det tidspunkt dyrene levede, mens skallerne først senere efter en kortere eller længere nedslidningsperiode har kunnet indgå i strandvoldene. Det i strandvolden indgåede materiale ved Aggersund ses således ud fra dateringerne at være yngre end det, der fandtes *under* strandvoldene ved Ullerup Gaard.

#### Lokalitet: Bjerregaard

Ved Nr. Bjerregaard i Hanherred, se fig. 4, 300 m syd ad landevejen fra gården findes fra abrasionsfladen i kote + 4 m, fig. 3 E, skaller af *Ostrea edulis*, tavle 1 fig. 10, som har levet på stedet, hvilket fremgår af at højre- og venstre skaller er bevaret sammen. En datering af østersskaller fra dette sted giver  $2040 \pm 65$  f.Kr. En senere opbygget akkumulationsterrasse til + 6 m på dette sted angiver den højeste marine grænse i området. Der er her fundet de i tabel 1,5 anførte arter. Disse aflejringer, som altså kan henføres til subboreal tid, tilfører ikke faunalisten nogen væsentlig mængde af nye arter i forhold til, hvad der fandtes i østersbanken ved Gjøttrup Have (tabel 1,3) fra tidlig atlantisk tid.

#### Lokalitet: Klim

Formen af Gjøttrup Rimme og oddekomplekset omkring Klim, hvis sydøstlige del ses på fig. 4, viser, at materialetransporten har foregået fra nordøst mod sydvest, og betegner således andre hydrografiske forhold end de der



herskede medens det østligere områdes strandvoldskomplekser var under opbygning (Gry 1962). De nævnte strandvolde er yngre end de, der blev omtalt fra det østlige område, da Gjøttrup Rimme afskærer disse. Forud for dannelsen af disse strandvolde er dybene i den prækvartære kalkoverflade udfyldt med finere materiale afsat af kyststrømmene – flakdannelse. “Faunaen” i aflejringerne fra disse områder er både individ- og artsrig, men det er udfra det ovenfor skitserede, med de nu nærtliggende større dybder under dannelsen af strandvoldene, sandsynligt, at der i deres “fauna” indgår materiale fra dybder ud til 15 m kurven (cf. Johansen 1901).

I disse aflejringer forekommer, som det fremgår at tabel 1,6 endvidere arter, der ellers kun (indenfor det danske område) er kendt fra de ved Frederikshavn beskrevne *Dosinia*-lag.

Inden for Klim-området, 500 m nordøst for Klim Kirke, godt en meter under overfladen (kote + 2,5 m), dækket af tørv, findes aflejringer, der på basis af molluskindholdet: *Hydrobia*, *Littorina*, *Cerastoderma edule*, *Venerupis aurea*, *Scrobicularia plana*, *Macoma baltica* og *Mytilus edulis* må opfattes som en fjordfauna, se V. Nordmann i Jessen (1905 p. 149).

I gruset, der udgør strandvoldene sydvest for Klim i kote + 3,0 m, findes der en typisk *Tapes*-fauna med *Littorina*, *Nucella*, *Ostrea*, *Cerastoderma* og *Buccinum* i store kraftige eksemplarer og *Tapes decussatus* med lukkede skaller. Forfølges dette strandvoldskompleks længere mod nordvest op mod Torup (se fig. 1), findes i gruset i kote + 3 til + 4,5 m stadig denne *Tapes*-fauna; her er set *Ostrea edulis* og *Chlamys varia* med lukkede skaller. I selve Torup by ved den tidligere stationsplads i tilsvarende kote som ved forannævnte lokalitet er også påvist *Tapes*-fauna, og her findes *Lucinoma borealis*.

Det er rimeligt at sammenknytte tidsmæssigt disse lange nord-syd gående strøg af strandvolde med næsten samme kote på grundlag af deres artssammensætning. Ved Kløv bliver det vanskeligt at følge strandvoldene, på grund af et skjulende flyvesandsdække. I området vest for Kløv (fig. 1), som øst for Klim, findes en nordsydgående uddybning i den prækvartære overflade. Sedimentet fra borer i dette område er undersøgt for mollusker. Faunaen omfatter arter som *Ostrea edulis*, *Mytilus edulis*, *Timoclea ovata*, *Mya truncata*, *Epitonium clathrus*, tavle 1 fig. 1, og *Chlamys varia* samt *Nucula* sp., der viser, at sedimentationen må være foregået i postglaciantid, således at postglaciale marine aflejringer i en dybde af ÷ 30 m hviler direkte på kalken.

#### Lokalitet: Vust

En særlig interesse knytter der sig til Vust Rimme komplekset, der strækker sig fra Vust Kirke og mod syd til den tidligere jernbanestation, da det, udfra fund af hest og tamokse i strandvoldsmaterialet (Nordmann 1905 pp. 90–

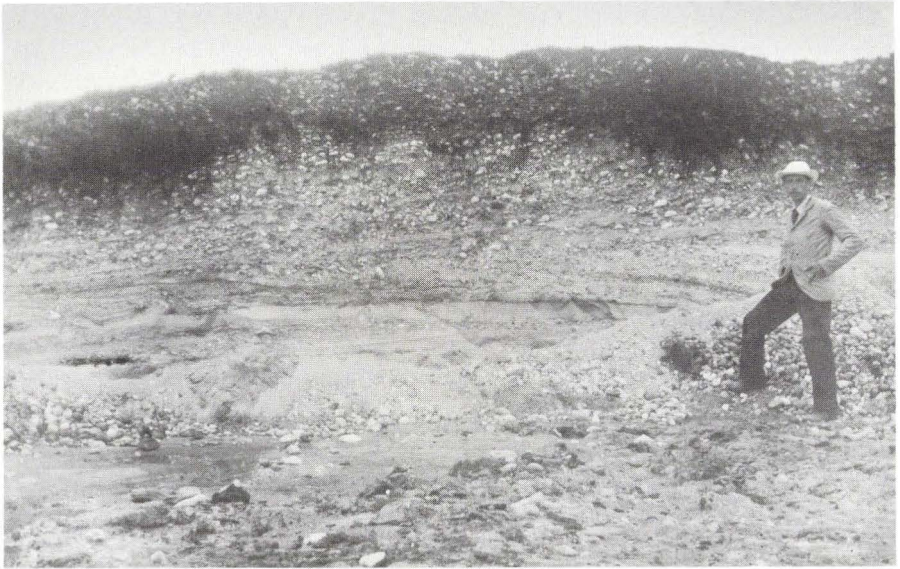


Fig. 6. Vust profilet og V. Nordmann. I teksten er gengivet V. Nordmanns dagbogsbeskrivelse af dette profil. Foto 16.7.1903 DGU arkiv.

*The Vust section and V. Nordmann, who measured the section and suggested, on the basis of bones of domesticated animals, that the beach ridges were formed during the Bronze age. Photo 16-7-1903, DGU archives.*

91), blev angivet, at disse dannelser var under opbygning endnu i bronzealder tid. I Vust-området findes aflejringer af postglacial alder under strandvoldene i det parti, der ligger nordvest for Vust Kirke, hvor strandvoldene overlejrer leret marin gytje. Under strandvolden når denne gytje en højde af + 2,30 m og kan følges ud mod Lund fjord, hvor dens overgrænse på en strækning af 100 m er faldet til kote  $\div$  1,0 m.

På det sted, hvor man fandt bl.a. de nævnte husdyrrester, nåede strandvolden en højde af 3,5–4,0 m o.h. Knoglerne blev fundet ca. 2 m under overfladen i et lag af fint sand og tang. Fra V. Nordmanns undersøgelsesrejse beskrives profilet, som ses på et samtidigt billede, hvor også V. Nordmann figurerer, fig. 6, som følger: “Den fuldstændige lagserie sås i et 2,55 m højt profil N–S som fandtes i den vestligste del af graven, herfra øverst det fra 0,3 m til 1,5 m mægtige varierende gruslag af æg til håndstore sten med muldfarvet sand imellem. I dette ituslåede og rullede skaller af de større former som *Buccinum*, *Ostrea*, *Cardium edule* og *Mytilus* (denne fandtes navnlig i de mere sandede partier i usædvanlig hele exemplarer). Nedadtil går dette lag over i fint grus og groft sand med store *Cardium edule*, *Ostrea* og *Tapes*-arter, samt lag af skalgrus. Derunder kommer sand



og finere gruslag i discordant lagdeling. I sandet findes tynde skallag. Den nederste del af profilet er dækket af skred (se foto fig. 6), men foran profilet i bunden af graven ses et morads af vådt, gråblåt, dyndet sand i hvilket klumper af den nedre tørv stikker op". – Det bemærkes, at V. Nordmann anvender betegnelsen "nedre tørv". Men som nævnt ovenfor, findes en postglacial molluskfauna underlejrende strandvoldene længere mod nord, hvilket lader formode, at vi næppe har med fastlandstidens dannelser at gøre.

Det er faunaen fra lagene over "tørven", tilhørende strandvoldsmaterialet, der findes gengivet på tabel 1,7. Specielt skal forekomsten af *Helcion pellucidum*, tavle 1 fig. 2, *Hinia incrassata*, *Lucinoma borealis*, *Lutraria lutraria* og *Pholas dactylus* fremhæves, da disse arter ellers kun, i subfossil form, er kendt fra *Dosinia*-lagene (Nordmann 1904), og sammen med dem de tre af *Tapes*-arterne, herunder *Tapes decussatus*, der ikke er fundet af V. Nordmann i *Dosinia*-lagene på Jyllands nordøstkyst (Nordmann *op. cit.*) Med hensyn til *Dosinia*-lagenes specifikke arters optræden i dette område skal det bemærkes, at der, med undtagelse af *Venerupis rhomboides* (tab. 1,4), ikke er nogen af disse, der kan siges at være fundet i ældre *Tapes*-lag. (cf. V. Nordmann 1910 p. 323).

I disse aflejringer fra Vust forekommer også *Donax vittatus*, en i nutiden typisk Vesterhavsform (Mortensen 1922), der jævnlgt findes opskyllet på stranden ved Jammerbugten. Denne art må siges på bedste måde at karakterisere de hydrografiske forhold, som disse fra nord afsatte strandvoldskomplekser afspejler, jvf. Helge Gry (1962).

Som det ses af faunalisten (tab. 1,7), findes *Donax vittatus* på dette sted i en typisk *Tapes*-fauna, cf. V. Nordmann (Madsen *et al.* 1928 p. 122).

### *Donax* Havet

I det nordligste Thy og Hanherred, i de store lavereliggende områder, der findes mellem Klim og Fjerritslev, østen for Hjørdemål ved Klastrup og fra Tangaarden mod Vigsø ved Hanstholm – det lodret skraverede areal på fig. 1 – findes en fauna som vist i tabel 1,8. Disse aflejringer betegnes *Donax*-lagene. De kan følges fra den nuværende kyst ved Vigsø Bugten og Jammerbugten til de ovenfor omtalte strandvoldskomplekser. Faunistisk lader *Donax*-lagene sig karakterisere ved *Donax vittatus*, *Mactra corallina cinerea* og *Ensis ensis*, hvorimod de ovenfor nævnte for *Dosinia* Havet karakteristiske former ikke er repræsenteret. Endvidere er *Tapes decussatus* ikke påvist i de fra området gennemgæede prøver. Det skal bemærkes, at skalførende aflejringer er langt færre i dette område end indenfor Klim – Vust området, hvilket vanskeliggør en sammenligning. Hyppigst træffes i

Mollusca	Skrandrup Strand 1	Livø 2	Gjødstrup Have 3	Ullerup gaard 4	Bjerge gaard 5	Klim 6	Vust 7	Donax lagene 8
<i>Nuculoma tenuis</i> (Montagu).	.	.	.	.	.	+	.	.
<i>Modiolus modiolus</i> (Linné).	.	.	.	.	.	.	.	+
<i>Mytilus edulis</i> Linné.	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Chlamys varia</i> (Linné).	.	.	+	.	+	+	+	+
<i>Pododesmus squamula</i> (Linné).	.	.	.	.	.	+	.	.
<i>Pododesmus patelliformis</i> (Linné).	.	.	.	.	.	.	.	+
<i>Ostrea edulis</i> Linné.	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Tridonta borealis</i> Schumacher.	.	.	.	.	.	.	?	.
<i>Thyasira flexuosa</i> (Montagu).	.	.	.	.	.	+	.	.
* <i>Lucinoma borealis</i> (Linné).	.	.	.	.	.	.	+	.
<i>Mysella bidentata</i> (Montagu).	.	.	.	.	.	+	+	+
<i>Montacuta ferruginosa</i> (Montagu).	.	.	.	.	.	+	+	.
<i>Parvicardium exiguum</i> (Gmelin).	+	+	.	+	+	+	+	.
<i>Cerastoderma edule</i> (Linné).	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Cerastoderma glaucum</i> (Brugière).	+	.	.	+	.	.	.	.
<i>Timoclea ovata</i> (Pennant).	.	.	.	.	.	.	+	+
<i>Chamelea gallina striatula</i> (Da Costa).	.	.	.	.	.	+	+	+
<i>Venerupis pullastra</i> (Montagu).	.	.	+	.	+	.	+	+
<i>Venerupis aurea</i> (Gmelin).	.	.	.	+	+	+	+	+
* <i>Venerupis rhomboides</i> (Pennant).	.	.	.	+	.	.	.	.
<i>Tapes decussata</i> (Linné).	.	.	+	+	+	+	+	.
<i>Donax vittatus</i> (Da Costa).	.	.	.	.	.	.	+	+
<i>Macoma balthica</i> (Linné).	.	.	.	.	.	+	.	+
<i>Fabulina fabula</i> (Gronovius).	.	.	.	+	.	+	+	+
<i>Angulus tenuis</i> (Da Costa).	.	.	.	.	.	+	+	+
<i>Abra alba</i> (W. Wood).	.	.	+	.	.	+	.	+
<i>Abra nitida</i> (Müller).	.	.	.	.	.	+	.	.
* <i>Abra prismatica</i> (Laskey).	.	.	.	.	.	+	.	.
<i>Scrobicularia plana</i> (Da Costa).	+	+	.	+	.	.	.	.
<i>Mactra corallina cinerea</i> (Montagu).	.	.	.	.	.	.	+	+
<i>Spisula subtruncata</i> (Da Costa).	.	.	.	+	.	+	+	+
* <i>Lutraria lutraria</i> (Linné).	.	.	.	.	.	.	+	.
<i>Phaxas pellucidus</i> (Pennant).	.	.	.	.	.	.	.	+
<i>Ensis ensis</i> (Linné).	.	.	.	.	.	.	.	+
<i>Hiatella arctica</i> (Linné).	.	.	.	.	.	+	+	.
<i>Corbula gibba</i> (Olivi).	.	.	.	.	.	+	+	+
<i>Mya truncata</i> Linné.	.	.	.	.	.	.	+	+
<i>Barnea candida</i> (Linné).	.	.	.	.	.	.	+	.
<i>Zirfaea crispata</i> (Linné).	.	.	.	.	.	.	.	+

Tabel (table) 1. Oversigt over subfossile muslinge- og sneglearter, der er refereret til i teksten under lokaliteterne 1–8. \*) De arter der hidtil, i danske postglaciale aflejringer, kun er fundet i *Dosinia*-lagene på østkysten af Vendsyssel.



Mollusca	Skrandrup Strand	Livø	Gjøttrup Have	Ullerup gaard	Bjerge gaard	Klim	Vust	Donax lagene
	1	2	3	4	5	6	7	8
* <i>Pholas dactylus</i> Linné.	.	.	.	.	.	.	+	.
<i>Thracia papyracea</i> (Poli).	.	.	.	.	.	+	+	.
* <i>Helcion pellucidum</i> (Linné).	.	.	.	.	.	+	+	.
<i>Acmaea virginea</i> (Müller).	.	.	.	.	.	+	+	+
<i>Gibbula tumida</i> (Montagu).	.	.	.	.	.	+	.	.
<i>Gibbula cineraria</i> (Linné).	.	.	.	.	+	+	+	+
<i>Lacuna vincta</i> (Montagu).	.	.	.	.	.	+	+	+
<i>Stenotis pallidula</i> (Da Costa).	.	.	.	.	.	+	+	+
<i>Littorina obtusata</i> (Linné).	.	.	+	+	+	+	+	+
<i>Littorina littorea</i> (Linné).	.	.	+	+	+	+	+	+
<i>Littorina saxatilis rudis</i> (Maton).	.	.	.	.	+	+	+	+
<i>Peringia ulvae</i> (Pennant).	+	+	+	+	+	.	.	.
<i>Putilla semistriata</i> (Montagu).	.	.	.	.	.	+	.	.
<i>Cingula proxima</i> (Forbes & Hanley).	.	.	.	.	+	.	.	.
<i>Cingula semicostata</i> (Montagu).	.	.	+	.	+	+	+	.
<i>Turboella parva parva</i> (Da Costa).	.	.	.	+	+	+	.	.
<i>Turboella parva interrupta</i> (Adams).	.	.	.	.	.	.	+	.
<i>Turboella albella</i> (Lovén).	+	+	+	+	+	+	.	.
<i>Turboella inconspicua</i> (Alder).	.	.	+	.	.	+	+	.
<i>Rissoa lilacina</i> Récluz.	.	.	.	.	+	+	+	+
<i>Rissoa membranacea</i> (Adams).	+	+	+	+	+	+	+	.
<i>Skeneopsis planorbis</i> (Fabricius).	.	.	+	.	+	.	.	.
<i>Bittium reticulatum</i> (Da Costa).	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Triphora perversa adversa</i> (Montagu).	.	.	.	.	.	+	+	.
<i>Lunatia alderi</i> (Forbes).	.	.	.	.	.	.	.	+
<i>Nucella lapillus</i> (Linné).	.	.	.	.	+	+	.	+
<i>Buccinum undatum</i> Linné.	.	.	.	.	+	+	+	+
<i>Hinia reticulata</i> (Linné).	.	+	+	+	+	+	+	+
* <i>Hinia incrassata</i> (Ström).	.	.	.	.	.	.	+	.
<i>Hinia pygmaea</i> (Lamarck).	.	.	.	.	.	+	+	.
<i>Raphitoma purpurea</i> (Montagu).	.	.	.	.	.	+	.	.
<i>Chrysallida indistincta</i> (Montagu).	.	.	.	.	.	+	.	.
<i>Chrysallida obtusa</i> (Brown).	.	.	.	.	.	+	+	+
<i>Chrysallida spiralis</i> (Montagu).	.	.	.	.	.	+	+	.
<i>Menestho divisa</i> (Adams).	.	.	.	.	.	.	+	.
<i>Odostomia eulimoides</i> Hanley.	.	.	.	.	.	+	.	.
<i>Turbonilla delicata</i> Monterosato.	.	.	.	.	.	+	.	.
<i>Retusa truncatula</i> (Bruguère).	.	.	.	.	.	+	+	+

Synoptic table of the gastropods and bivalves mentioned in the text at the localities 1-8. \*) Species hitherto only known, within the Danish postglacial deposits, from the Dosinia beds.

gravninger enskornet sand uden mollusker. Desuden er de nordlige dele af Thy og Hanherred i højere grad end de sydlige områder flyvesandsdækkede.

#### Lokalitet: Kovad Bro

I området mellem Klim og Fjerritslev, 200 m øst for Kovad Bro, findes i et profil bestående af enskornet sand til 2,5 m under terrænen i kote  $\pm 0$  m arter som: *Mytilus edulis*, *Cerastoderma edule*, *Spisula subtruncata*, *Mactra corallina cinerea*, tavle 1 fig. 11, *Donax vittatus*, tavle 1 fig. 9, *Fabulina fabula*, *Chamelea gallina striatula* og *Venerupis aurea*. Denne aflejring er dateret til  $40 \pm 100$  e.Kr. Det bemærkes at *Venerupis aurea*, tavle 1 fig. 3 således endnu i tiden omkring Kristi fødsel fandtes i Limfjordsegnene. V. Nordmann har i 1903 indenfor dette område langs kanalen ved Kovad Bro været opmærksom på en aflejring af *Cardium*-gytje med *Hydrobia*, som han antog var yngre end lag, hvorfra han nævner "*Tellina fabula*, *Ostrea*, *Mactra stultorum*, *Donax* og *Natica*", som må anses for at være de samme som ovenfor, og som nu er dateret. Ud fra dette må man slutte, at forbindelsen mellem Limfjorden og havområderne vest for Skagen ikke blev afbrudt førend efter år 0 svarende til det tidspunkt hvor Vesterhavsformerne afløstes af lagune arter.

#### Afsluttende bemærkninger om de faunistiske forhold

Det må bemærkes, at faunalistens (tab. 1) 77 arter kun udgør lidt over halvdelen af de fra hele Limfjords-området kendte subfossile muslinge- og (skalbærende) sneglearter. Ialt er der i de hævdede postglaciale marine aflejringer fundet 138 arter.

Fra den recente Limfjord kendes 85 skalbærende arter, hvilket må antages at svare ret nøje til det antal, der lever der, da Limfjorden med hensyn til bundfauna er et veludforsket område. Særlige forhold gør sig gældende med familien Hydrobiidae. I nutiden forekommer 4 arter af denne familie i Limfjorden, tavle 1 fig. 4-7. De *Hydrobia* former, der indgår i det subfossile skalmateriale, kan imidlertid vanskeligt (eller slet ikke) alle henføres til art, da artidentifikation inden for denne familie foretages hovedsageligt på bløddelskarakterer. Det har derfor ikke kunnet lade sig gøre at påvise en tilstedeværelse blandt de subfossile snegle af *Hydrobia neglecta* Muus 1963. Den i faunalisten nævnte *Peringia ulvae* må opfattes *sensu lato*, også omfattende andre muligt tilstedeværende former af Hydrobiidae.

*Mya arenaria* lever i nutiden i Limfjorden, men er ikke påvist i de i dette arbejde omtalte prøveindsamlinger, der også omfatter aflejringer fra subatlantisk tid. Arten anføres fra de postglaciale aflejringer i Limfjordens nord-

østlige del (Jessen 1905 p. 136), men i "Vendsyssels Geologi" bemærkes det, at den ikke med sikkerhed er påvist i de *hævede* skallag (Jessen 1936 p. 137 ff). I en prøve fra Borreholm i Aggersund, udtaget af Helge Gry, er *Mya arenaria* repræsenteret, men sammen med *Crepidula fornicata*, der er indvandret til Limfjorden i dette århundrede (: indført med østersyngel i 1880'erne fra Amerika til Europa) (Spärck 1950, Hessland 1951). Mange aflejringer liggende op til hundrede meter fra den nuværende kyst kan være meget unge, hvilket også blev fremhævet af V. Nordmann (Jessen 1905 p. 158). Arten synes ud fra dette ikke at kunne betragtes som subfossil fra området, og man må slutte, at den først er kommet ind i historisk tid – se videre Hessland (1945) og Strauch (1972 p. 137).

## Niveauforholdene

Lagfølgen ved Skrandrup Strand afspejler en transgression – regression inden for atlantisk tid, med et transgressions maximum mellem 4700 f.Kr. og 4310 f.Kr. De marine gytjeafsætninger er både her og på Livø med sikkerhed påvist til kote + 3 m, se tavle 2 fig. 1 og 2.

På fig. 7 ses udsnit af søjleprofilerne fra samtlige omtalte lokaliteter med dateringer, opstillet i tidsfølge ( $C-14$  år  $T \frac{1}{2} = 5568$ ) og placeret efter prøvens kote. Øvrige oplysninger vedrørende dateringerne fremgår af tabel 2.

I Hanherred, ved Gjøttrup Have, findes de ældste af de daterede marine aflejringer (5040 f.Kr.) i kote + 3 – + 4 m og de yngste i atlantisk tid i kote + 3 m ved Ullerup Gd. Ved en sammenligning af lagfølgerne i det undersøgte område, mellem Gjøttrup Have – Ullerup Gd. og Skrandrup Strand – Livø (: forskel i sted, nord/syd), må man, når koterne vurderes, reducere for forskel i postglacial hævningshastighed. Denne har indtil nu resulteret i en difference på ca. 1,5 m indenfor dette område (Mertz 1924) med den største hævnings mod nord. Det sene tidspunkt for marin transgression ved Skrandrup Strand må tilskrives tilstedeværelsen af en tærskel, der gennem en tid har kunnet holde lavningen isoleret fra marin påvirkning.

De fra Aggersund lokaliteten daterede omljrede skaller i højtliggende strandvolde kote + 6 – + 8 m viser, at strandvoldsdannelsen på dette sted er yngre end 3040 f.Kr. Det er som en mulighed på fig. 7 anført, at de i tid hører til den subboreale transgressionsfase, der kan erkendes ved Bjerregaard (i det nordlige område), hvor der findes skalmateriale fra 2040 f.Kr. i kote + 4 m, hvorover der er udviklet en akkumulationsterrasse til kote + 6 m, som på dette sted bestemmer den højeste marine grænse. Med denne haves slutfasen af det ældre strandvoldssystems opbygning.

Nærværende undersøgelser viser, at den højeste marine grænse i Han-



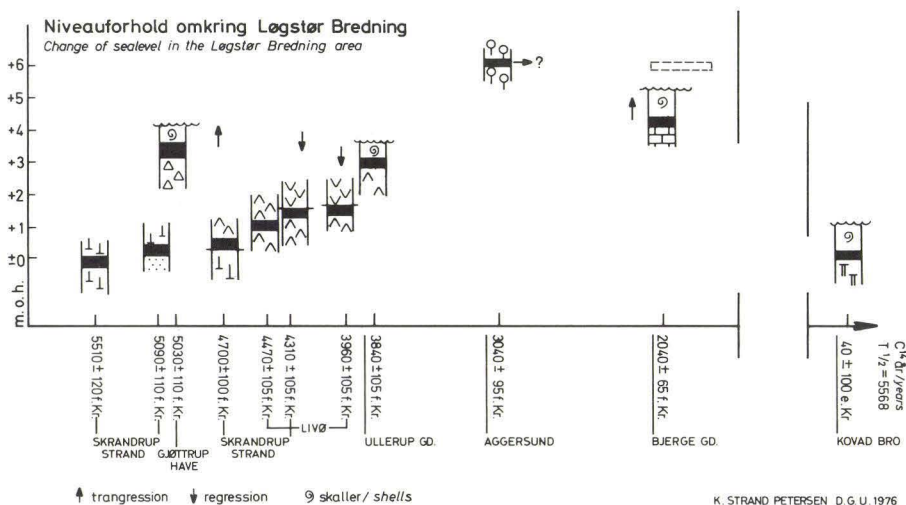


Fig. 7. Udsnit af profilsøjlerne fra samtlige lokaliteter med dateringer opstillet i tidsfølge og placeret efter den daterede prøves kote. Dateringerne er udtrykt i konventionelle C-14 år ( $T_{1/2} = 5568$ ). Legende se fig. 5.

*Sectors of the sections from the localities with C-14 datings tabulated in order of age (C-14 years,  $T_{1/2} = 5568$ ) on the abscissa and after level on the ordinate. Legend on Fig. 5.*

herred (: Bjerregaard) er nået under en transgression i subboreal tid, medens den tilsvarende grænse i Vendsyssel (: Dybvad, fig. 1) henføres til højatlantisk tid af Iversen (1943). Dette er i overensstemmelse med at de højstliggende stranddannelser er blevet udformet stadig senere op gennem tiden, når man bevæger sig fra det nordøstlige Vendsyssel mod sydvest, dette betinget af den større hævningshastighed i den nordøstlige del af landet (cf. Iversen 1973 p. 74).

De af Iversen (1937) påviste 4 transgressioner i postglacial tid i Danmark kan ikke følges i det her fremlagte materiale, og dette lader sig ikke på basis af de relativt få C-14 dateringer indpasse i de af Berglund (1971) og Digerfelt (1975) fremlagte undersøgelser fra Sydsverige.

Yngst blandt de daterede aflejringer (fig. 7) er materialet fra *Donax* Havet (: Kovad Bro). Heraf kan udledes, at niveauforholdene endnu i subatlantisk tid har betinget et delvis havdækket Hanherred.

Et årtusind frem i tiden fra Kovad Bro dateringen ( $20 \pm 90$  e.Kr. i kalibreret C-14 alder, se tabel 2) bringer os ind i historisk tid med begivenheden omkring Harald Haardraades flugt fra kong Svend. Disse egne nu erkendte fortidige niveauforhold harmonerer med den forestilling, at nordmændene klarede sig vej *nordover* fra Løgstør Bredning. Hermed er der



Lokalitet	Nordlig bredde Østlig længde	Prøvens højde o.h.	Dateret materiale	Prøve nr.	Lab. nr.	C-14 år f. 1950	Kalibreret alder før 1950
Locality	N. Lat. E. Long.	Sample elevation	Dated material	Field Sample no.	Lab. no.	C-14 years B.P.	Calibrated dates B. P.
Kovad Bro	57°05'N. Lat. 9°13'E. Long.	± 0,0 m	Marine shells <i>Donax vittatus</i>	28-3-74-III	K-2384	1910 ± 100	1930 ± 90
Bjerregaard	57°02'N. Lat. 9°14'E. Long.	+ 4,0 m	Marine shells <i>Ostrea edulis</i>	30-5-72-X	K-2479	3990 ± 65	4540 ± 130
Aggersund	56°59'N. Lat. 9°17'E. Long.	+ 6,0 m	Marine shells <i>Ostrea edulis</i> (allochton)	2-6-72-XXX	K-2481	4990 ± 95	5760 ± 120
Ullerupgaard	57°01'N. Lat. 9°15'E. Long.	+ 3,0 m	Marine shells <i>Cerastoderma edule</i>	18-9-75-I	K-2570	5790 ± 105	6620 ± 130
Livø	56°53'N. Lat. 9°05'E. Long.	+ 1,5 m	Marine shells <i>Cerastoderma edule</i>	7-3-75-II	K-2478	5910 ± 105	6740 ± 135
Skrandrup Strand	56°56'N. Lat. 8°50'E. Long.	+ 1,5 m	Marine shells <i>Cerastoderma edule</i>	7-2-75-I	K-2475	6260 ± 105	7080 ± 130
Livø	56°53'N. Lat. 9°05'E. Long.	+ 1,0 m	Marine shells <i>Cerastoderma edule</i> <i>Scrobicularia plana</i>	7-3-75-I	K-2477	6420 ± 105	7240 ± 130
Skrandrup Strand	56°56'N. Lat. 8°50'E. Long.	+ 0,5 m	Marine shells <i>Cerastoderma edule</i>	1-3-74-III	K-2383	6650 ± 100	~ 7450
Gjøttrup Have	57°04'N. Lat. 9°14'E. Long.	+ 3,5 m	Marine shells <i>Ostrea edulis</i> <i>Cerastoderma edule</i>	30-5-72-VIII	K-2480	6980 ± 110	~ 7680
Skrandrup Strand	56°56'N. Lat. 8°50'E. Long.	+ 0,5 m	Stubs <i>Tilia sp.</i>	13-3-75-I	K-2474	7040 ± 110	~ 7740
Skrandrup Strand	56°56'N. Lat. 8°50'E. Long.	± 0,0 m	Stump <i>Ulmus sp.</i>	13-3-75-III	K-2476	7460 ± 120	~ 8010

Tabel (table) 2. C-14 daterede prøver fra Limfjords områdets centrale del. De kalibrerede aldre er omregnet efter Damon *et al.* 1973. De fire ældste dateringer er angivet: ~ omsætning efter varvkronologien (Tauber 1970).  
Radiocarbon dates from the central part of the Limfjord area. The calibrated dates after Damon *et al.* 1973. The four oldest dates: ~ after the Scandinavian varv chronology (Tauber 1970).

givet et bidrag til den tidligere omtalte diskussion og dennes aktuelle udløbere (Rasmussen 1958, Larsen 1965, 1975).

## Sammendrag

Udfra tidligere undersøgelser i Limfjorden kan det antages, at Limfjordens forbindelse med havområderne vest for Skagen har været over det nordlige Thy og Hanherred. Nærværende undersøgelse viser, at denne forbindelse har fungeret til op i subatlantisk tid. I subboreal tid dannedes de udstrakte strandvoldskomplekser, der særligt præger Hanherred, og i denne tid nåedes den højeste marine grænse under en transgressionsfase fra omkring 2040 f.Kr. Fra atlantisk tid dominerer aflejringer af marin gytje, og herfra påvises et transgressionsmaximum mellem 4700 f.Kr. og 4310 f.Kr. Faunistisk er der særlig grund til at fremhæve den store artsmængde i de subboreale aflejringer, der dannedes under indflydelse af havområderne nord for området. Der findes her, i en rig *Tapes* fauna, arter, som ellers kun er fundet i *Dosinia*-lagene inden for det danske område. I de yngste aflejringer, fra subatlantisk tid, er faunaen næsten identisk med den recente Vesterhavsfauna, men stadig dækkede havet store dele af det nordlige Thy og Hanherred – det område, der er afgrænset som *Donax* Havet efter den karakteristiske Vesterhavsform *Donax vittatus*.

Dr. *Helge Gry* takkes for opfordringen til at bearbejde de marine dannelser på hans kortblade, hans interesse for mit arbejde og for den store erfaring, som han har ladet mig få del i. Vid.ass. *Jens Stockmarr*, forstkandidat *Kent Havemann*, vid.ass. *Peter Konradi*, mag.scient. *Ib Marcussen* og civ.ing. *Henrik Tauber* takker jeg for deres bidrag og befordrende samtaler. Lektor *Ella Hoch* ved Mineralogisk Museum er det mig en kær pligt at takke for kritik og hjælp til udformningen af manuskriptet i et forståeligt dansk. For oplysninger om Limfjordens recente forhold og fauna rettes en tak til Dr. *Ole Bagge* (Danmarks Fiskeri- og Havundersøgelser), adjunkt *J. Hylleberg Kristensen* og prof. *Tom Fenichel* (begge Århus Universitet).

## Litteratur

- Andresen, C. C. 1856: Om Landtungen mellem Vesterhavet og Liimfjorden fra Agger til Pælediget (Ringkjøbing Amt), dens Fortid og Nutid. – Tidsskrift for populære Fremstillinger af Naturvidenskaben, 3. Bd. pp. 313–337.
- Berglund, B. E. 1971: Littorina transgressions in Blekinge, South Sweden, A preliminary survey. – Geol. Fören. Stockh. Förh. 93(3), pp. 625–652.
- Bricka, C. F. 1869: Om Limfjordens Forbindelse med Vesterhavet i det 11<sup>te</sup> Aarhundrede. – Aarb. f. nord. Oldk. og Hist. 1868, pp. 313–333.

- Bricka, C. F. 1871: Endnu nogle ord om Limfjordens Forbindelse med Vesterhavet i det 11<sup>te</sup> Aarhundrede. – Aarb. f. nord. Oldk. og Hist. pp. 402–409.
- Collin, Jonas 1884: Om Limfjordens tidligere og nuværende marine Fauna med særligt hensyn til Bløddyrfaunaen. – Kjøbenhavn, 169 p.
- Damon, P. E., Long, A. and Wallik, E. I. 1973: Dendrochronologic calibration of the carbon-14 time scale. – Proc. 8. Int. Conf. Radiocarbon Dating, New Zealand, pp. A 28–A 43.
- Digerfelt, G. 1975: A standard profile for Littorina transgressions in western Skåne, South Sweden. Boreas, 4, pp. 125–142.
- Erslev, Kr. 1873: Harald Hårdråde i Limfjorden. – Aarb. f. nord. Oldk. og Hist., pp. 57–72.
- Faber, F. 1828: Kort Efterretning om en zoologisk Reise til det nordligste Jylland i Sommeren 1827. – Tidsskrift for Naturvidenskab V., pp. 243–256.
- Forchhammer, G. 1841: On the Downs of Denmark. – The Edinburgh New Philosophical Journal. XXXI., pp. 61–77.
- Forchhammer, J. 1858: Den vestlige Deel af Liimfjordens Omgivelser. – Danmarks illustrerede Almanak – 5<sup>te</sup> Aargang. Kjøbenhavn, pp. 84–88.
- Gry, Helge 1962: Stenalderhavets strandvolde i en del af Hanherred. – Dansk Natur, Dansk skole Årsskrift, pp. 32–40.
- Hessland, I. 1945: On the Quaternary Mya period in Europe. – Arkiv Zool. K. Svenska Vet. Akad. 37 A. (8). Uppsala, pp. 1–51.
- Hessland, I. 1951: Notes on *Crepidula fornicata*'s further invasion of Europe. – Arkiv Zool. K. Svenska Vet. Akad. Serie 2, 2 (5), pp. 525–528.
- Iversen, Johs. 1937: Undersøgelser over Litorinatransgressioner i Danmark. – Meddr dansk Geol. Foren. 9, pp. 223–232.
- Iversen, Johs. 1943: Et Litorinaprofil ved Dybvad i Vendsyssel. – Meddr dansk Geol. Foren. 10, pp. 324–328.
- Iversen, Johs. 1973: The Development of Denmark's Nature since the Last Glacial. – Danm. geol. Unders. V. række, 7-C, 126 p.
- Jessen, Axel 1899: Kortbladene Skagen, Hirtshals, Frederikshavn, Hjørring og Løkken. – Danm. geol. Unders. I. række, 3, 368 p.
- Jessen, Axel 1905: Kortbladene Aalborg og Nibe (nordlige del). – Danm. geol. Unders. I. række, 10, 177 p.
- Jessen, Axel 1920: Stenalderhavets Udbredelse i det nordlige Jylland. Danm. geol. Unders. II. række, 35, 112 p.
- Jessen, Axel 1936: Vendsyssels Geologi. – Danm. geol. Unders. række 5, 2, 195 p.
- Johansen, A. C. 1901: Om Aflejringen af Molluskernes Skaller i Indsøer og i Havet. – Vidensk. Meddr. dansk naturh. Foren., pp. 4–46.
- Johnstrup, F. 1882: Om de geologiske Forhold i den nordlige Del af Vendsyssel. Indbydelsesskrift til Københavns Universitets Aarsfest, pp. 1–43.
- Jørgensen, A. D. 1870: Harald Hårdråde i Limfjorden. – Aarb. f. nord. Oldk. og Hist., pp. 111–119.
- Jørgensen, A. D. 1876: Harald Haardraades Tog til Limfjorden og Limfjordens Tilstand i de XI. Aarhundrede. En Undersøgelse af J. Japetus, S. Steenstrup. – Det nittende Aarhundrede Febr. 76. pp. 461–470.
- Knudsen, K. L. 1973: Foraminifera from Postglacial deposits of the Lundergaard area in Vendsyssel, Denmark. – Bull. geol. Soc. Denmark, 22, pp. 255–282.



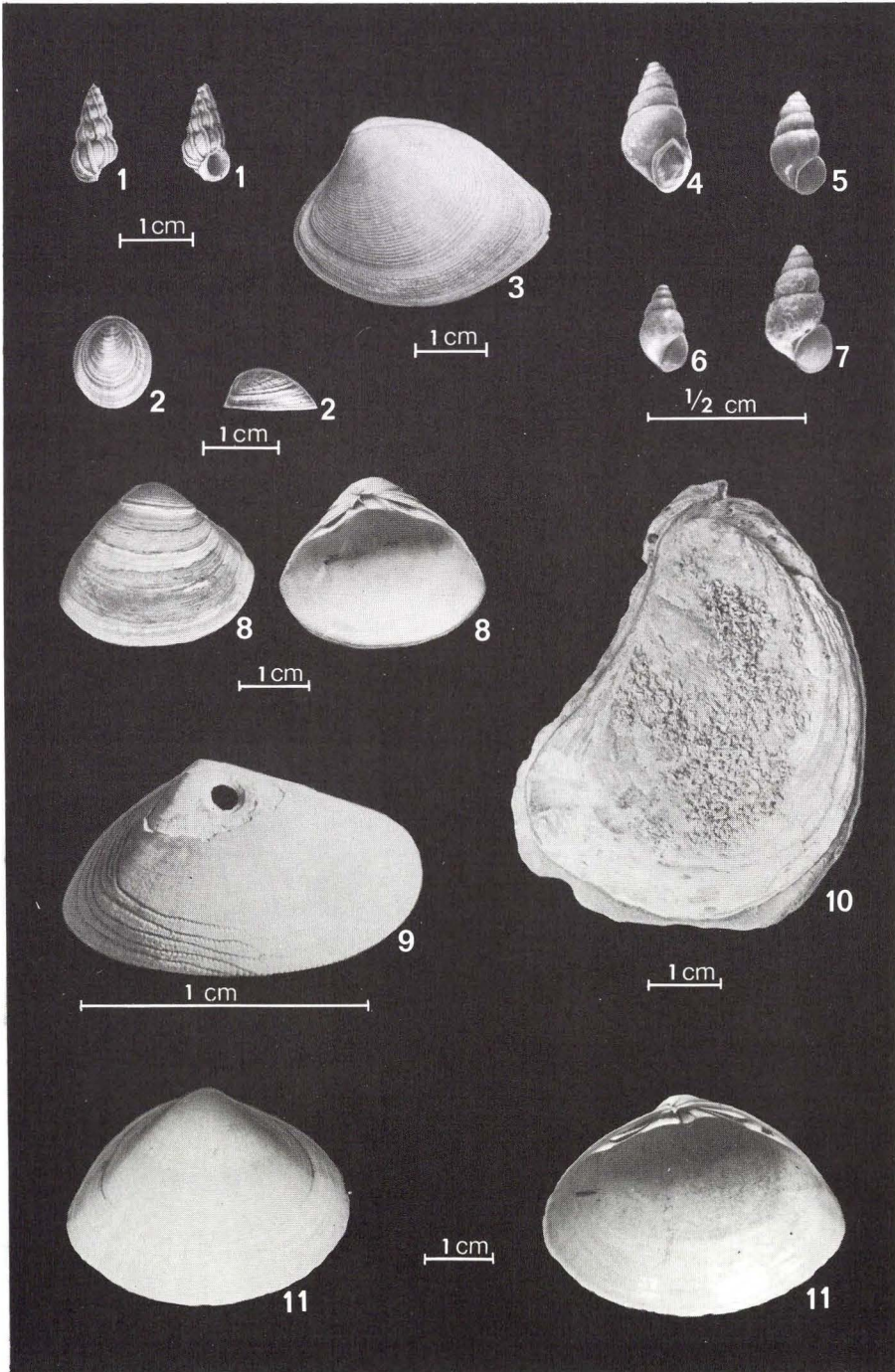
- Krog, Harald & Henrik Tauber 1974: C-14 chronology of Late- and Post-glacial marine deposits in North Jutland. – Danm. geol. Unders. Årbog 1973. pp. 93–105.
- Kruse, R. H. 1869: Et Bidrag til Limfjordens Historie i det 11<sup>te</sup> Aarhundrede. Aarb. f. nord. Oldk. og Hist. 1868, pp. 277–282.
- Larsen, S. 1965: Vejret på Livsbred. – Politikens kronik 10.7.1965.
- Larsen, S. 1975: Vikingernes hav. – København, 93 p.
- Madsen, V. 1928: Oversigt over Danmarks Geologi. – Danm. geol. Unders. V. række, 4, 208 p.
- Mertz, Ellen Louise 1924: Oversigt over de sen- og postglaciale Niveauforandringer i Danmark. – Danm. geol. Unders. II. række, 41, 49 p.
- Mortensen, Th. 1922: Biologiske Studier over Sandstrandsfaunaen, særlig ved de danske Kyster. – Vidensk. Meddr. dansk naturh. Foren. 74, pp. 23–56.
- Mörch, O. A. L. 1871: Fortegnelse over de i de danske Have forekommende Bløddyr. – Vidensk. Meddr. dansk naturh. Foren. 23, pp. 157–225.
- Nordmann, V. 1904: Dosinialagene ved Kattegat. – Meddr dansk geol. Foren. 2 (10), pp. 23–40.
- Nordmann, V. 1905: Danmarks Pattedyr i Fortiden. – Danm. geol. Unders. III. række, 5, 133 p.
- Nordmann, V. 1910: Post-glacial climatic changes in Denmark. – Postglaziale Klima-  
verändringen, pp. 313–328.
- Petersen, K. Strand & Arne Buch 1974: Dislocated tills with Paleogene and Pleistocene marine beds. – Danm. geol. Unders. Årbog 1973, pp. 63–91.
- Pingel, C. 1828: Om Diluviet og Alluviet i det nordlige Jylland. – Tidsskr. for Naturvidenskab V. Kjøbenhavn, pp. 121–144.
- Pontoppidan, Erich 1769: Den Danske Atlas. – Tomus V Kjøbenhavn, 1104 p.
- Rasmussen, H. 1958: Limfjorden åben og lukket – Turistforeningen for Danmark, Årbog 1958, pp. 9–20.
- Spärck, R. 1950: Om udbredelsen af tøffelsneglen (*Crepidula fornicata*) i danske farvande. – Beretning fra Den danske biologiske Station 52, pp. 49–50.
- Steenstrup, J. 1852: Undersøgelser i geologisk-antiqvarisk Retning. – Vidensk. Selsk. Oversigter. Fortsættelse nr. 1 1852, 188 p.
- Steenstrup, J. 1857: »Oplysninger om en Kjøkkenmødding ved Virksund i Jylland«. – Oversigt over de videnskabelige Møder. – Vidensk. Meddr. dansk naturh. Foren., p. 343.
- Steenstrup, J. 1875: Harald Haardraades Tog til Limfjorden og Limfjordens Tilstand i 11<sup>te</sup> Aarhundrede – Kjøbenhavn, 81 p.
- Storm, G. 1877: Om Limfjordens ældre Aabning mod Vest og Snorre Sturlassøns Kjenkskab til Jyllands geografiske Forhold. – Norsk Historisk Tidsskrift. Kristiania. 4. Bd. pp. 113–134.
- Strauch, F. 1972: Phylogenese, Adaptation und Migration einiger nordischer mariner Molluskengenera – Abh. senckenberg. naturforsch. Ges. 531, 210 p.
- Tauber, Henrik 1970: The Scandinavian varve chronology and C-14 dating. – In: Olsson, I. U. (Ed.) Proc. XII. Nobel Symposium, Radiocarbon variations and absolute chronology. Stockholm, pp. 173–196.





Tavle (Plate) 1.

- Fig. 1. *Epitonium (Clathrus) clathrus* (Linné 1758) (Collection DGU).  
Fig. 2. *Helcion (Ansates) pellucidum* (Linné 1758). Vust 1903 V. Nordmann. (Collection DGU).  
Fig. 3. *Venerupis (Polititapes) aurea* (Gmelin 1791) (Collection DGU).  
Fig. 4. *Peringia ulvae* (Pennant 1777). Recent, Limfjorden 1975. (Collection DGU).  
Fig. 5. *Hydrobia (Hydrobia) neglecta* Muus 1963. Recent, Limfjorden 1975. (Collection DGU).  
Fig. 6. *Potamopyrgus (Potamopyrgus) jenkinsi* (Smith 1889). Recent, Limfjorden 1975. (Collection DGU).  
Fig. 7. *Hydrobia (Hydrobia) stagnorum* (Gmelin 1790). Recent, Limfjorden 1975. (Collection DGU).  
Fig. 8. *Spisula (Spisula) subtruncata* (Da Costa 1778). "Vesterhavnsformen" V. Nordmann, Fjerritslev-Klim. (Collection DGU).  
Fig. 9. *Donax (Cuneus) vittatus* (Da Costa 1778). Kovad Bro 28-3-74-III KSP. (Collection DGU).  
Fig. 10. *Ostrea edulis* Linné 1758. Bjerge Gd. 30-5-72-IX KSP. (Collection DGU).  
Fig. 11. *Mactra (Mactra) corallina cinerea* (Montagu 1803) Fjerritslev-Klim. (Collection DGU).  
Foto (Phot.) O. Neergaard Rasmussen.



Tavle (Plate) 2.

Fig. 1. Øverste profil: Skrandrup Strand, Mors.

Profilen viser *Cardium*-gyttje med mange skaller hvilende på en ferskvandsserie af tørv med mange store grenstykker (transgression). Over saltvandsgyttjen ligger en ferskvandsgyttje med talrige skaller af *Limnaea* (regression). Ferskvandsgyttjen går opad over i et mere tørveagtigt sediment. Hele serien overlejres af en senere dannet strandvold, der når op til + 4,5 m. Det marine indslag når her op til ca. + 3 m. Legende på tekst-figur 5.

*Coastal exposure: Skrandrup Strand, Mors.*

*Cardium gyttja overlaying peat (transgression). The saltwater gyttja reaching to + 3.0 m is superposed by freshwater gyttja (regression) which pass into a peat-like sediment. The hole sequence is overlain by a beach ridge, reaching to + 4.5 m. Legend see Fig. 5.*

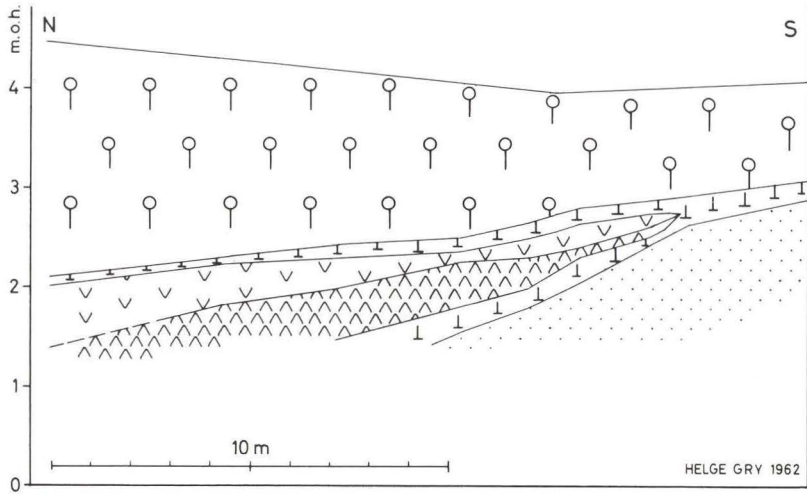
Fig. 2. Nederste profil: Livø. 700 m VNV for Hesselbjerg Høj.

Profilen viser en udvikling svarende til profilen ved Skrandrup Strand, tavle 2 fig. 1. I en lavning i moræneloverfladen (trekantsignatur) er aflejret fint sand, sandsynligvis ferskvandssand, der er overlejret af tørv med store grenstykker. Herpå *Cardium*-gyttje, der stedvis overlejres af et tyndt tørvelag. Den overliggende yngre strandvold når op til + 4,5 m. I *Cardium*-gyttjen, en fed grønlig gyttje, findes marine skaller op til ca. + 3 m, men gyttje af samme karakter som *Cardium*-gyttjen når op til + 4,5 m. Det er sandsynligt, men ikke bevist ved hjælp af mollusker, at den grønne gyttje er marin helt til toppen af profilen. Legende på tekst-figur 5.

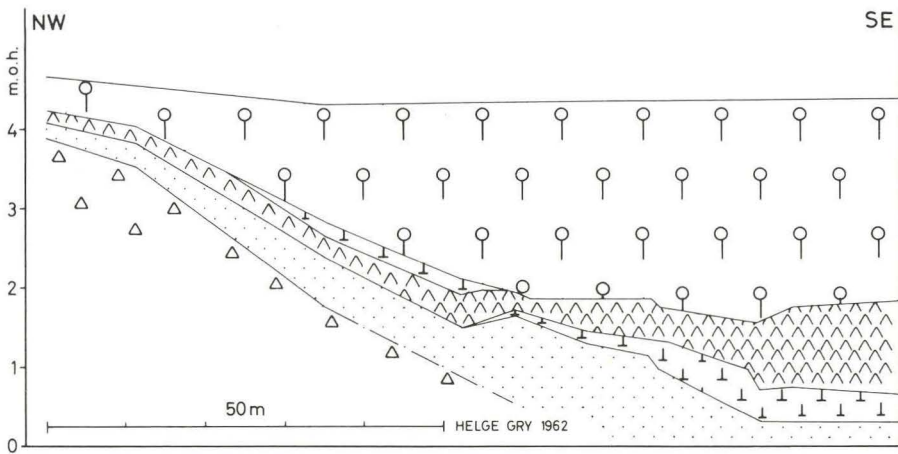
*Coastal exposure: Livø. 700 m WNW of Hesselbjerg Høj.*

*The section shows a similar trend as found at Skrandrup Strand (Plate 2 Fig. 1). In a depression on the till surface (triangles) fine-grained sand has been deposited, most probably in freshwater. This is overlain by peat with stubs. Above this peat *Cardium gyttja* occurs, which in places is overlain by a fine cover of peat. The superposed beach ridge reach to 4.5 m. In the stricky greenish *Cardium gyttja* marine shells are found to a level of + 3.0 m, but gyttja of the same appearance reach to + 4.5 m. Legend see Fig. 5.*





SKRANDRUP STRAND



LIVØ



# Preliminary report on the Jurassic lithostratigraphic nomenclature in the Danish North Sea area

Olaf Michelsen

Michelsen, Olaf: Preliminary report on the Jurassic lithostratigraphic nomenclature in the Danish North Sea area. *Danm. geol. Unders., Årbog 1975*, pp. 105–116. København, 3. september 1976.

A lithostratigraphical subdivision of the Jurassic sequence in the Norwegian-Danish Basin is proposed. The outlined stratigraphy is the preliminary result of the work within the Danish subcommittee for Jurassic lithostratigraphy in the North Sea. The Fjerritslev Formation and the Haldager Formation are used in accordance with the original description, but it is proposed that the former is subdivided into three members. It is proposed that the Børglum Formation and the Frederikshavn Formation are treated as members and included in a new formation.

A short review is given of the Jurassic sedimentary sequence in the Central Trough.

In August 1975 the Geological Survey of Denmark was asked by the Norwegian Petroleum Directorate to co-operate in a committee for the creation of a lithostratigraphic nomenclature in the northern part of the North Sea. Co-operation was established between England and Norway. The purpose was to establish a uniform lithostratigraphic nomenclature of the sedimentary sequences found during the last years' exploratory work in the North Sea.

A lithostratigraphic nomenclature for the southern part of the North Sea was published by Rhys (1974).

The work is carried out at national level. As in Norway, four subcommittees were set up in Denmark: a Tertiary, Cretaceous, Jurassic, and pre-Jurassic subcommittee. The Danish subcommittee on Jurassic lithostratigraphic nomenclature has the following members: Inger Bang, Finn Bertelsen, Arne Buch, and Olaf Michelsen (chairman).

The present article may be regarded as a preliminary report on the Jurassic sequence in the Norwegian-Danish Basin. For the Norwegian offshore, corresponding reports were published by Younge *et al.* (1975) and Myrland (1976). In the present article the main features of the subdivision

will be outlined on the basis of the analyses given by Larsen (1966) and Michelsen (1975), corrected for data derived from the recent onshore and offshore borings.

In this article the Jurassic sequence is represented by the Dansk Nordsø J-1 boring situated centrally in the Norwegian-Danish Basin (figs. 1 and 2). This section is used preliminarily as a reference section. Type sections for the previously published formations are to be found in Larsen (1966).

A detailed description of the lithostratigraphic units and a definition of the new ones will be included in a paper in preparation. A corresponding paper on other parts of the Danish North Sea area, the Central Trough, is also being prepared.

## The Norwegian-Danish Basin

The following subdivision of the Jurassic sequence is proposed:

### Group C

#### Formation X

Frederikshavn Member

Børglum Member

#### Haldager Formation

### Group B

#### Fjerritslev Formation

Member III

Member II

Member I

#### Gassum Formation

#### Vinding Formation

The Vinding Formation is Triassic and the Gassum formation is predominantly Triassic (Larsen 1966, Michelsen 1975) and will be described by the subcommittee for pre-Jurassic lithostratigraphic nomenclature.

The Jurassic sequence was interpreted by Larsen (1964) as comprising two sedimentary cycles: the sandy Rhaetic and the clayey Liassic deposits as the 1st cycle; the sandy Dogger and the clayey Malm as the 2nd cycle. The two groups mentioned above correspond to the two cycles.

### *Fjerritslev Formation*

(Larsen 1966)

*Derivation of the name:* From the name of the type section.



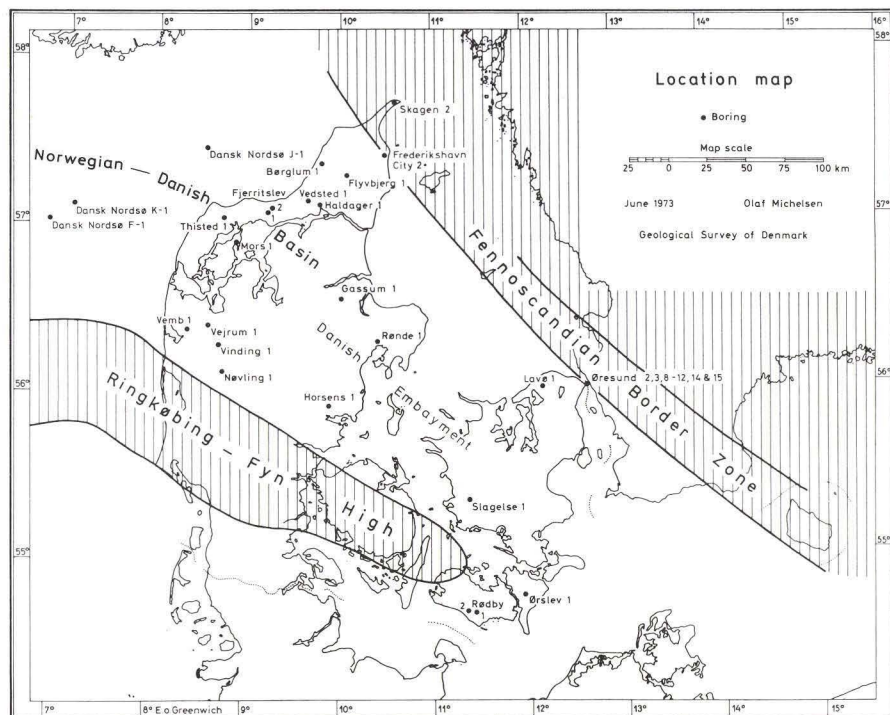


Fig. 1

*Type section:* The Fjerritslev No. 2 boring, 1315–2295 m below M.S.L.

*Lithology:* Marine claystone or shale, with varying silt content, dark grey to black (rarely brownish or greenish), slightly calcareous. Few intercalations of siltstone or fine-grained sandstone. Clay-ironstone concretions are common.

*Remarks:* In the type section the upper boundary of the formation is placed between a claystone series and the overlying sandstone series (the Haldager Formation). A corresponding transition zone is seen in the Dansk Nordsø J-1 boring (fig. 2). The boundary is defined on the Spontaneous Potential and the Resistivity logs. A complementary definition may be based on the Gamma Ray and the Interval Transit Time logs in the Dansk Nordsø J-1 boring.

The lower boundary is not defined by petrophysical measurements in the type section. It is therefore proposed that this boundary (the boundary between the Gassum Formation and the Fjerritslev Formation) be defined

in the Dansk Nordsø J-1 boring on the basis of the Gamma Ray and the Interval Transit Time logs. The lower boundary in the Vedsted No. 1, Flyvbjerg No. 1, and Børglum No. 1 borings is not correlatable as originally described (see Michelsen 1975, pp. 48, 50, and 53, pl. 42). A probable intercalation between the Gassum Formation and the Fjerritslev Formation make a re-investigation and a re-description necessary.

*Occurrence:* Originally the formation was described as occurring in the entire Danish Embayment. However, its occurrence in the southeastern part has been stated as questionable (Michelsen 1975, p. 78). As only few borings have been drilled to the south, only the northwestern part of the basin will be dealt with here.

The formation occurs throughout this part of the basin, but it is developed in two different ways. To the northeast it can be subdivided into three parts with a middle more silty series, and an overlying and an underlying series with frequent occurrence of silt/sandstone intercalations uppermost and lowermost in the formation. To the southwest the formation is uniformly developed throughout, as seen in the Dansk Nordsø F-1, Dansk Nordsø K-1, and Nøvling No. 1 borings (cf. Michelsen 1975, figs. 13, 14, 18).

The maximum thickness found in borings, 980 m, was recorded in the type section.

*Geological age:* Lower Jurassic (Michelsen 1975).

*Subdivision:* Subdivision into three subunits is proposed: members I, II, and III.

#### *Member I*

(New member)

*Lithology:* Shale and claystone, dark grey, non-calcareous to slightly calcareous. Subordinate beds of siltstone, light grey, strongly calcareous.

*Remarks:* This member can be distinguished as a shale series with thin beds of siltstone in the lower part. The upper and lower boundaries can be defined on the Gamma Ray and the Interval Transit Time logs (cf. fig. 2).

In the middle of the member there is a distinct sand/siltstone bed (fig. 2) which may prove to be important for correlation.

*Occurrence:* This member probably occurs in all sections northeast of the Dansk Nordsø J-1 and Mors No. 1 borings. A typical appearance is seen in the Dansk Nordsø J-1, Fjerritslev No. 2, and Vedsted No. 1 borings.

The thickness in the Fjerritslev No. 2 boring is 450 m.

*Geological age:* Hettangian and Sinemurian (Michelsen 1975).

### *Member II*

(New member)

*Lithology:* Claystone, silty, dark grey, grey, brownish grey, slightly calcareous, with pyrite. Subordinate layers of siltstone, coarse-grained, light grey, calcareous.

*Remarks:* This member is clearly recognized by means of the Gamma Ray and the Interval Transit Time logs as a more silty part of the Fjerritslev Formation (fig. 2).

*Occurrence:* On the basis of correlations, it may be found in the borings containing Member I. A typical development of the member is seen in the Dansk Nordsø J-1, Fjerritslev No. 2, Mors No. 1, Børghlum No. 1, and Vedsted No. 1 borings.

The thickness in the Fjerritslev No. 2 boring is 180 m.

*Geological age:* Lower Pliensbachian and lower Upper Pliensbachian (Michelsen 1975). It is assumed to be contemporaneous with the Swedish Kattlösa Formation.

### *Member III*

(New member)

*Lithology:* Claystone (shaly). grey or greenish grey, non-calcareous; and claystone, silty, grey to dark grey, slightly calcareous; with beds of light sandstone in the upper part.

*Remarks:* This member is characterized by shaly claystone, often greenish. Subordinate occurrence of sandstone beds uppermost and lowermost seems typical (cf. fig. 2).

Definition of the boundaries of the member may be based on the Gamma Ray and the Interval Transit Time logs in the Dansk Nordsø J-1 boring.

*Occurrence:* The member may be distinguished in all sections containing Members I and II. Characteristic log features are found in the Dansk Nordsø J-1, Fjerritslev No. 2, Flyvbjerg No. 1, Børglum No. 1, and Vedsted No. 1 borings.

The thickness in the Fjerritslev No. 2 boring is 350 m.

*Geological age:* Upper Upper Pliensbachian and Toarcian-Aalenian (Michelsen 1975).

### *Haldager Formation*

(Larsen 1966)

*Derivation of the name:* After the name of the type section.

*Type section:* The Haldager No. 1 boring. 1076–1401 m below M.S.L.

*Lithology:* A deltaic deposit of sand and sandstone, fine- to coarse-grained, subordinate occurrence of gravel, whitish to light grey, with subordinate beds of clay (light grey to dark grey, silty, and with mica), with coal. Marine claystone may occur uppermost and lowermost.

*Remarks:* This formation is distinguished by means of the petrophysical measurements. However, the lower boundary in the type section is not developed in a typical way inasmuch as the underlying Fjerritslev Formation may be reduced and is not correlatable with the Fjerritslev No. 2 section.

*Occurrence:* The formation is found throughout the basin. The maximum thickness, 325 m, is recorded in the type section, and the minimum thickness in the central part of the basin.

*Geological age:* Mainly Middle Jurassic.

*Subdivision:* Is not yet subdivided.



*Formation X*

(New formation)

*Lithology:* Marine deposits of claystone and shale, (dark) greenish grey, often silty, with clay-ironstone concretions. Marginally in the basin the upper part of the formation consists of siltstone or fine-grained sandstone, greenish grey or whitish, with glauconite and mica.

*Remarks:* Larsen (1966) established two Upper Jurassic formations which below are described as members: the Børglum Formation and the Frederikshavn Formation. As the two units were described mainly from marginal parts of the basin they were clearly separated and easily recognizable by means of petrophysical measurements.

Regarding the new borings more centrally in the basin it is obvious that such a subdivision is difficult to work with. The Børglum Member *s.str.* may be recognized by means of the Gamma Ray and the Interval Transit Time logs, whereas the upper part of the Upper Jurassic series corresponding to the Frederikshavn Member is difficult to classify (cf. fig. 2). The latter part is a more or less silty claystone series which cannot be a true part of the Børglum Member. Furthermore, final conclusions cannot yet be given on the overlying claystone series which is questionably determined to Upper Jurassic (fig. 2). Another problem is that in certain sections, the Haldager No. 1 and Børglum No. 1 borings, the Frederikshavn Member consists of two parts: a lower arenaceous and an upper argillaceous subunit. More studies on the upper part of the Jurassic series are necessary for establishing a new lithostratigraphy.

It seems reasonable to lower the rank of the two formations to members and to include them in a new formation.

Definition and description of this formation can probably be based on the Dansk Nordsø J-1 section, including the Gamma Ray and the Interval Transit Time logs. Correlation with older borings such as Børglum No. 1 and Haldager No. 1 can be made by the Gamma Ray and the Resistivity logs.

Definition and correlation of the upper boundary present some problems. Centrally in the basin (see fig. 2) the petrophysical measurements show a gentle development from the clayey Børglum Member through the more silty "Frederikshavn Member" to the overlying clayey sequence. Preliminarily it is proposed that the upper boundary of Formation X be placed at the top of the silty unit.

The lower boundary is easily determined by the top of the Haldager Formation.

*Occurrence:* The formation seems to occur throughout the basin (see also Christensen 1974, fig. 5).

The maximum thickness, 253 m, is recorded in the Børglum No. 1 boring.

*Geological age:* Upper Jurassic (Sorgenfrei & Buch 1964, Christensen 1974).

*Børglum Member*  
(Larsen 1966)

*Derivation of the name:* From the name of the type section.

*Type section:* The Børglum No. 1 boring. 911–990 m below M.S.L.

*Lithology:* Marine claystone or shale, dark grey to light greenish grey. In places there are brownish red and greenish grey horizons. With clay-ironstone concretions.

*Remarks:* Marginally in the basin, where this series is overlain by the Frederikshavn Member, it is distinctly recognizable by means of petrophysical measurements, as it is situated between two arenaceous sequences.

For the central part of the basin a preliminary demarcation is shown in fig. 2. The upper boundary is placed at a slight increase in the silt content.

The lower boundary coincides with lower boundary of the formation.

*Occurrence:* The member is found in the entire basin (see Larsen 1966 and Christensen 1974, fig. 5), but not in the Horsens No. 1 boring (Christensen 1971).

*Geological age:* Oxfordian in the type section (Sorgenfrei & Buch 1964). Elsewhere Oxfordian to Portlandian (Christensen 1974).

*Frederikshavn Member*  
(Larsen 1966)

*Derivation of the name:* From the name of the type section.

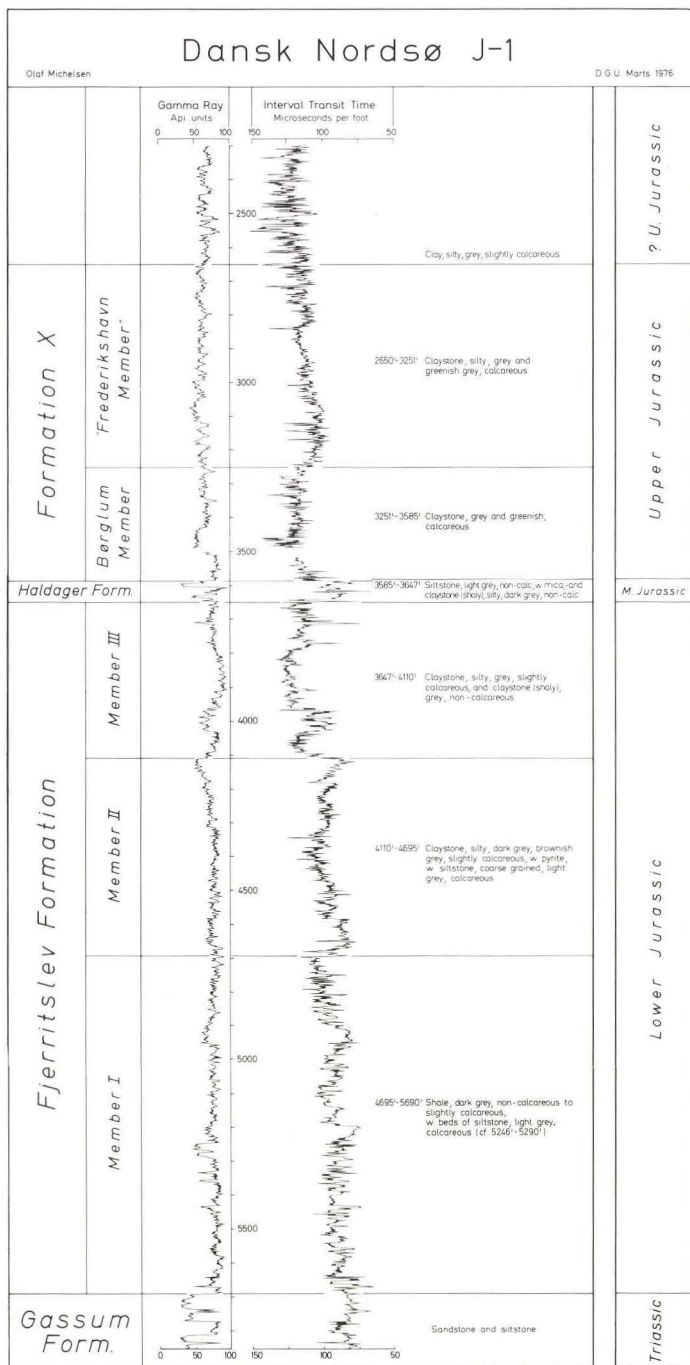


Fig. 2.

*Type section:* The Frederikshavn City No. 1 boring, 569–627 m below M.S.L.

*Lithology:* Marine sandstone, fine-grained, in places with cross-bedding; and siltstone, greenish grey or whitish, with glauconite and mica, in places with thin beds of limestone, and subordinate beds of claystone. The deposit contains marine fossils.

*Remarks:* The member is easily recognizable as defined by Larsen (1966). However, in certain borings, Haldager No. 1 and Børglum No. 1, the petrophysical measurements show a subdivision so that the upper part of the member includes an argillaceous subunit. Further interpretation is necessary for a final conclusion.

Another problem is an identification and definition of the upper silty part of the formation centrally in the basin (see fig. 2). The silty part is preliminarily regarded as contemporaneous with the marginal deposit in the present member.

*Occurrence:* The Frederikshavn Member *s.str.* occurs along the north-eastern border of the basin, reaching to the Vedsted No. 1, Haldager No. 1, Gassum No. 1, and Rønede No. 1 borings to the southwest.

*Geological age:* Kimmeridgian to Portlandian in the Børglum and Haldager borings (Sorgenfrei & Buch 1964, see also Christensen 1974).

## Central Trough

The thickness of the Jurassic sequence in the Central Trough is found to be very large. As details of only a few of the borings in the Jurassic sediments have been released for publication, only a short outline of the series will be given below. More detailed descriptions and drawings of the lithology are given in Rasmussen (1974 and 1976) and Michelsen (1976). A formal subdivision has not yet been worked out.

Overlying non-marine Triassic sediments are found Lower Jurassic marine shales representing the lowermost stages. These are overlain by Middle Jurassic sandstone and siltstone with coal beds. These two sedimentary sequences can easily be recognized by means of petrophysical measurements and may be regarded as units at formational level.

The Upper Jurassic sequence, which exceeds 1000 m in thickness, is a shale/claystone series. It may be subdivided into two or more units at



formational level. Especially characteristic is a thick, upper claystone series with numerous thin "limestone layers" (recognized by means of petrophysical measurements). This latter series is found to be of Kimmeridgian age. As can be seen from the Dansk Nordsø E-1 and G-1 borings this series shows very characteristic features on the Gamma Ray and Interval Transit Time logs.

## Dansk sammendrag

På grundlag af igangværende arbejde med den lithostratigrafiske nomenklatur indenfor den nordlige del af Nordsøen gives der i nærværende artikel en kortfattet og foreløbig oversigt over jura-aflejringerne i det Norsk-Danske Basin og i Central Trough. Den foreslåede inddeling af lagserien i førstnævnte område er baseret på beskrivelser publiceret af Larsen (1966) og på kendskabet til de nyere boringer.

Inddelingen i de to grupper, Group B og Group C, er i overensstemmelse med den cykliske udvikling indenfor aflejringerne (se Larsen 1966).

Den nedre jurassiske Fjerritslev Formation foreslås opdelt i tre underenheder: Member I, Member II og Member III.

Den mellem jurassiske Haldager Formation behandles i overensstemmelse med Larsen (1966).

De øvre jurassiske aflejringer foreslås indordnet under én ny formation. De to eksisterende formationer, Børglum Formationen og Fredrikshavn Formationen, underordnes denne nye formation som members.

## References

- Christensen, O. B. 1971: De yngre jurassiske aflejringer og grænsen jura-kridt i Rønde nr. 1 (English summary). – Danm. geol. Unders., III. række, 39, pp. 68–73.
- 1974: Marine communications through the Danish Embayment during uppermost Jurassic and lowermost Cretaceous. – *Geoscience and Man*, VI, pp. 99–115.
- Larsen, G. 1964: Rhaetic-Jurassic-Lower Cretaceous sediments from wells in North Jylland, Denmark. – *In*: van Straaten, L. M. J. U. (ed.) 1964: Deltaic and shallow marine deposits. – *Devs Sedimentol.*, pp. 227–235.
- 1966: Rhaetic-Jurassic-Lower Cretaceous sediments in the Danish Embayment. (A heavy-mineral study). – Danm. geol. Unders., II. række, 91, 127 p.
- Michelsen, O. 1975: Lower Jurassic biostratigraphy and ostracods of the Danish Embayment. – Danm. geol. Unders., II. række, 104, 289 p.
- 1976: Kortfattet oversigt over de geologiske forhold i den danske del af Nordsøen. – Danm. geol. Unders., Årbog 1975, pp. 117–132.
- Myrland, R. 1976: En foreløbig rapport fra norsk stratigrafisk nomenklaturkomité for Nordsjøen. (An abstract). – XII Nordiska Geologvintermötet, Göteborg 7–10 januari 1976, p. 40.

- Rasmussen, L. B. 1974: Some geological results from the first five Danish exploration wells in the North Sea. Dansk Nordsø A-1, A-2, B-1, C-1, and D-1. – *Danm. geol. Unders.*, III. række, 42, 47 p.
- 1976: 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. – *Danm. geol. Unders.*, III. række, 44 (in prep.).
- Rhys, G. H. 1974: A proposed standard lithostratigraphic nomenclature for the southern North Sea and an outline structural nomenclature for the whole of the (UK) North Sea. – *Inst. geol. Sc.*, Report No. 74/8, 14 p.
- Sorgenfrei, T. & Buch, A. 1964: Deep tests in Denmark 1935–1959. – *Danm. geol. Unders.*, III. række, 36, 146 p.
- Younge, B., Myrland, R., Taylor, H. & Ruble, C. L. 1975: A preliminary report from the Jurassic stratigraphic nomenclature subcommittee in Norway. – *NPF-Jurassic Northern North Sea Symposium*, Stavanger 28–30 September 1975, pp. 19/1–14.

# Kortfattet oversigt over de geologiske forhold i den danske del af Nordsøen

Olaf Michelsen

Michelsen, Olaf: Kortfattet oversigt over de geologiske forhold i den danske del af Nordsøen. *Danm. geol. Unders., Årbog 1975*, pp. 117–132. København, 3. september 1976.

A short outline of the geology in the Danish North Sea area is given. The sketched lithology and stratigraphy for the most recent of the borings must be treated with caution, since it mainly is based on petrophysical measurements and on correlation with older and more thoroughly studied borings.

Nedenstående artikel er et uddrag af rapporten "Rapport om eneretsbevilling af 8. juli 1962 med senere ændringer til efterforskning og indvinding af kulbrinter m.v. afgivet af det af handelsministeriet nedsatte udvalg" (oktober 1975), idet side 64–73 og 99–102 er gengivet ordret og figurerne 2, 4–8 er reproduceret som fig. 1–6.

Da skibsreder A. P. Møller, i forening med A/S Dampskibsselskabet Svendborg og Dampskibsselskabet af 1912 A/S, i 1962 fik meddelt bevilling til at efterforske og indvinde kulbrinter på dansk område, fik bevillingshaveren eneret til efterforskning af sådanne råstoffer i 10 år. Grundet dansk-tyske forhandlinger om sokkelgrænsen i Nordsøen blev perioden forlænget med 2 år. Efter efterforskningsperiodens udløb den 8. juli 1974 indledte det af handelsministeriet nedsatte tilsyn en undersøgelse af efterforskningsvirksomheden. Undersøgelsens resultater og konklusioner er nedfældet i ovennævnte rapport. Det blev ved aftale mellem bevillingshaveren og handelsministeriet den 12. december 1975 besluttet at lade rapporten offentliggøre efter den 16. december 1975.

Den del af rapporten, der er aftrykt nedenfor, indeholder en kortfattet oversigt over de geologiske forhold i den danske del af Nordsøen. Den omfatter en forenklet gengivelse af lithologi og stratigrafi i samtlige dybdeboringer udført i perioden 1965–1975 (fig. 2–5). Til trods for, at artiklen er holdt i generelle vendinger indeholder den en række ikke tidligere publicerede data. Da ovennævnte rapport ikke er i boghandlen og i praksis må siges at være vanskelig tilgængelig, har man fra D.G.U.'s side fundet det hensigtsmæssigt at offentliggøre denne del af rapporten.

Der skal knyttes følgende kommentarer til boreprofilerne i fig. 2-5:

1. For boringer udført før 1971 og enkelte yngre boringer er den skematiske fremstilling baseret på interne (upublicerede) lithologiske og biostratigrafiske rapporter. De øvrige boreprofiler er i større eller mindre grad baseret på petrofysiske målinger og korrelation med ældre boreprofiler, idet især den biostratigrafiske datering ikke var gennemført for alle profiler eller for alle dele af de enkelte profiler.
2. For at forenkle den lithologiske oversigt er bjergarter som anhydrit, stensalt m.v. sammensluttet under betegnelsen "saltbjergarter", og de tertiære askelag og perm vulkanitter er indeholdt i "vulkanske bjergarter".

Mere detaljerede beskrivelser af en del af de nedennævnte boringer findes i:

Childs, F. B. & Reed, P. E. C. 1975: Geology of the Dan field and the Danish North Sea. – Danm. geol. Unders., III. række, 43.

Rasmussen, L. B. 1974: Some geological results from the first five Danish exploration wells in the North Sea. Dansk Nordsø A-1, A-2, B-1, C-1, and D-1. – Danm. geol. Unders., III. række, 42.

Rasmussen, L. B. 1976: 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. – Danm. geol. Unders., III. række, 44 (in prep.).

I sidstnævnte afhandling findes en mere detaljeret oversigt over de strukturelle forhold og et forslag til revision af navngivning af de geologiske hovedregioner.

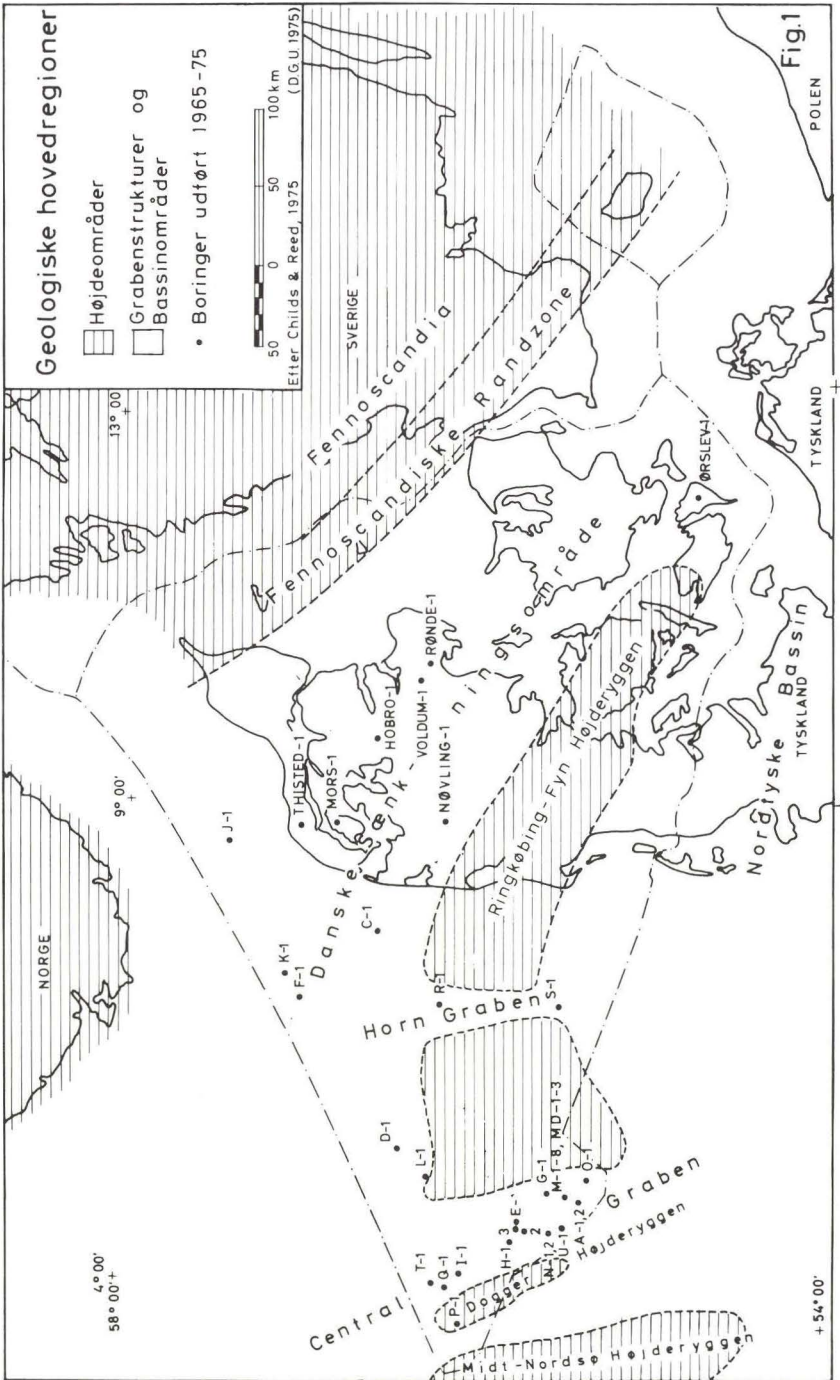
## Oversigt over de geologiske forhold i Nordsøen

Det danske land- og vandområde er en del af Nordsø bassinet, der gennem de geologiske perioder har gennemgået en række strukturelle ændringer med deraf følgende variation i aflejringsmønsteret.

Den danske del af Nordsø bassinet opdeles i seks strukturelt betingede hovedområder:

Central Graben  
Horn Graben  
Danske Sænkingsområde  
Nordtyske Bassin  
Ringkøbing-Fyn Højderyggen  
Fennoscandiske Randzone





Nordsø bassinet adskilles fra det gamle, stabile højdeområde Fennoscandia mod nordøst af den Fennoscandiske Randzone, der er et forholdsvist højtliggende område bestående af blokke adskilt af brudzoner i jordskorpen.

I sammenhæng med Midt-Nordsø Højderyggen i Nordsøens vestlige del danner Ringkøbing-Fyn Højderyggen en barriere, der opdeler Nordsø bassinet i et nordligt og et sydligt bassin. Denne opdeling blev anlagt i palaeozoikum. I slutningen af palaeozoikum, i perm perioden, aflejredes i de to bassiner store mængder af rødbrune, sandede, kontinentale sedimenter. I perm periodens sidste del fungerede de to bassiner som store, flade indampningsbassiner, hvor store mængder stensalt blev udfældet.

I løbet af perm perioden anlagdes en række nye strukturer (gravsænkninger) samtidig med forekomsten af udbredt vulkansk aktivitet. Oslo Graben, og antagelig også Viking Graben og Central Graben, dannedes og dermed grundlagdes den strukturelle funktion, der blev afgørende for aflejningsmønsteret i mesozoikum.

Ved begyndelsen af mesozoisk tid var den strukturelle opdeling, der er vist på kortet fig. 1, etableret. Højderyggen forblev i trias og jura perioderne som højtliggende partier, hvorpå ingen eller kun ringe aflejring af sedimenter fandt sted. Det Danske Sænkingsområde fortsatte som et indsynkingsområde, hvor betydelige sedimentmængder akkumuleredes. Central Graben var meget aktiv i trias og jura, idet især den jurassiske lagserie er meget tyk. Horn Graben blev dannet i trias perioden og var særlig aktiv i denne periode, medens indsynkningen i jura var mindre betydelig.

Aflejringsmønsteret i Central Graben og det Danske Sænkingsområde er noget forstyrret. Det voksende tryk fra trias og jura sedimenterne betingede dannelsen af saltstrukturer (puder, søjler og mure af stensalt), der presseses op i og igennem de mesozoiske lagserier.

Den individuelle strukturelle aktivitet klingede ud i løbet af kridt perioden. I nedre kridt fortsatte aflejringen af marine lersten/skifre som de er kendt fra jura, og de forholdsvis store tykkelser i Central Graben og det Danske Sænkingsområde viser en fortsat indsynkning af disse områder. Øvre kridt kalksten afsattes med mere ensartet tykkelse over hele området (inkl. højderyggen). Efter at aktiviteten langs brudzonerne i gravsænkningerne var ophørt, begyndte en mere generel (skålformet) indsynkning af Nordsøen, hvilket bevirkede aflejring af meget store sedimentmængder i løbet af tertiær perioden i Nordsøens centrale del.

### Central Graben

Boringer: Dansk Nordsø A-1, A-2, E-1, E-2, E-3, G-1, H-1, I-1, M-1, M-2, M-3, M-4, M-5, M-6, M-7, M-8, MD-1, MD-2, MD-3, N-1, N-2, O-1, P-1, Q-1, T-1 og U-1 (se fig. 3 og fig. 4).

Central Graben er en nordnordvest-sydsydøst orienteret gravsænkning, der begrænset af brudzoner i jordskorpen er nedsænket i forhold til omgivelserne. Central Graben strækker sig fra den sydlige Nordsø og mod nord, hvor den fortsætter i Viking Graben. På dansk område er Central Graben opdelt af den lille blok: Dogger Højderyggen.

Paleozoiske aflejringer er kun anført af to boringer, P-1 og T-1, der sammen med Q-1 danner en gruppe boringer med et fra de øvrige afvigende snit gennem de mesozoiske lagserier. De tre boringer må muligvis anses for beliggende på eller nær flanken af Dogger Højderyggen. I T-1 findes stensalt af perm alder umiddelbart under øvre kridt kalksten. Ligeledes under øvre kridt kalksten er der med P-1 boret i ikke marine sandsten, lersten og vulkanske bjergarter af perm alder. Derunder fandtes marine kalksten, lersten og sandsten af karbon alder, og nederst præ-karbone metamorfe bjergarter.

De triassiske lag er ikke gennemboret i selve gravsænkningen, men må anses for at være af en anseelig tykkelse. De består af ikke marine sandede sedimenter, – i den øvre del dog overvejende lerede. I den øvre del af trias lagserien findes mindre indslag af stensalt og en tynd zone med marine mergelsten (O-1).

Den jurassiske lagserie består af marine lersten/skifre. Over lag af trias alder findes lersten henført til nederste nedre jura. Derefter er der en sedimentationsafbrydelse, idet de næstfølgende lag er sandsten og kul af mellem jura alder (M-8 og O-1). Den overlejrende øvre jurassiske lerstenserie er meget tyk (mere end 1000 m i E-1 og G-1).

Uden væsentlige ændringer i sedimentationen aflejreredes også forholdsvis store mængder marine lersten i nedre kridt. Først ved overgangen til øvre kridt ændrer sedimenterne karakter, idet de mørkegrå lersten afløses af rødbrune mergelsten, der ligeledes er marine.

Øvre kridt kalksten er en 300–500 m tyk lagserie. I de hidtil kendte profiler synes aflejringer oftest at mangle fra den ældste del af øvre kridt perioden.

I den ældste del af tertiær perioden (i paleocæn) afløses kalksten af marine lersten, der sammen med underordnede sandlag er den dominerende bjergart i tertiær. Den største tykkelse er fundet mod nord med mere end 2500 m i Q-1.



### *Horn Graben*

Boringer: Dansk Nordsø R-1 og S-1 (se fig. 5).

Horn Graben er en nord-syd orienteret gravsænkning, der gennemskærer Ringkøbing-Fyn Højderyggen.

R-1 boringen er boret mere end 650 m ned i kontinentale sandsten, lersten og vulkanske bjergarter fra ældre perm. Yngre perme stensalt aflejringer er ikke kendt, ligesom de heller ikke kendes fra Ringkøbing-Fyn Højderyggen.

Den mesozoiske lagserie karakteriseres ved en forholdsvis tyk trias serie og meget tynde lagserier fra jura og nedre kridt. Aflejringerne fra trias består af kontinentale lersten og sandsten med mindre indslag af kalksten og mergelsten (mere end 2200 m tyk i S-1).

Nedre og mellem jura mangler, medens øvre jura og nedre kridt er repræsenteret ved marine lersten og underordnede lag af sandsten.

Øvre kridt kalkstensserien er 300–400 m tyk og repræsenterer aflejringer fra hele perioden (S-1).

Ved overgangen til tertiær er der en mindre sedimentationsafbrydelse, idet lag fra danien-paleocæn mangler. Aflejringerne fra tertiær i øvrigt er marine lersten med underordnede lag af sandsten, og – modsat tertiæret i Central Graben – er tykkelsen af lagserien moderat og nærmere den for landområderne almindelige.

### *Det Danske Sænkingsområde (Nordsøen)*

Boringer: Dansk Nordsø C-1, D-1, F-1, J-1, K-1 og L-1 (se fig. 5).

Det Danske Sænkingsområde er et langstrakt bassin beliggende mellem den Fennoscandiske Randzone og Ringkøbing-Fyn Højderyggen og strækkende sig fra det nordlige Polen, over Øresund, Sjælland, det nordlige Jylland og videre ud under Nordsøen. Som sedimentationsområde betragtet står det i forbindelse med den vest og nordvest for liggende region, det Dansk-Norske Bassin, der adskilles fra Viking Graben af Vestlands-Ryggen. Det Danske Sænkingsområde er karakteriseret ved aflejringer af stensalt af perm alder i dets centrale dele, og ved forholdsvis store tykkelser af trias-jura-nedre kridt aflejringer visende en betydelig men jævn indsynkning i den tilsvarende periode.

De ovennævnte boringer fordeler sig i to grupper. Dansk Nordsø F-1, J-1 og K-1 er beliggende nær midteraksen for Sænkingsområdet, og boreprofilerne viser en sedimentationsserie, der både med hensyn til tykkelse og bjergartskarakter er normal for Sænkingsområdet (cf. fig. 2 og 5).

Dansk Nordsø C-1, D-1 og L-1 er afvigende fra ovennævnte ved at have en reduceret mesozoisk lagserie. Dog udviser C-1 en trias serie, der



bedst kan sammenlignes med den fra Horn Graben beskrevne. I alle tre boringer findes der nederst perm sedimenter begyndende med vulkanske bjergarter og kontinentale sandsten og afsluttende med stensalt. Jura-nedre kridt lagserien er meget tynd. Den synes at indeholde aflejringer fra hele nedre kridt, hvorimod kun øvre jura er tilstede. Aflejringer fra nedre og mellem jura mangler således helt. Øvre kridt kalksten udgør en forholdsvis normal tykkelse, – med næsten 500 m i C-1, hvor aflejring fra hele perioden også er konstateret. Tertiær periodens aflejringer med lersten og sandede lersten viser en varieret tykkelse med mindre end 500 m i C-1 og mere end 1600 m i L-1. Afvigelserne fra "normalprofilet" i det Danske Sænkingsområde og de indbyrdes afvigelser mellem de tre boringer må forklares ved, dels at de er beliggende på individuelle strukturer, og dels at de er beliggende i randen af Sænkingsområdet. C-1 boringen kan på mange punkter sammenlignes med profilerne fra Horn Graben; og L-1 på enkelte punkter med T-1 og P-1.

Landboringer. Stratigrafisk og lithologisk oversigt.

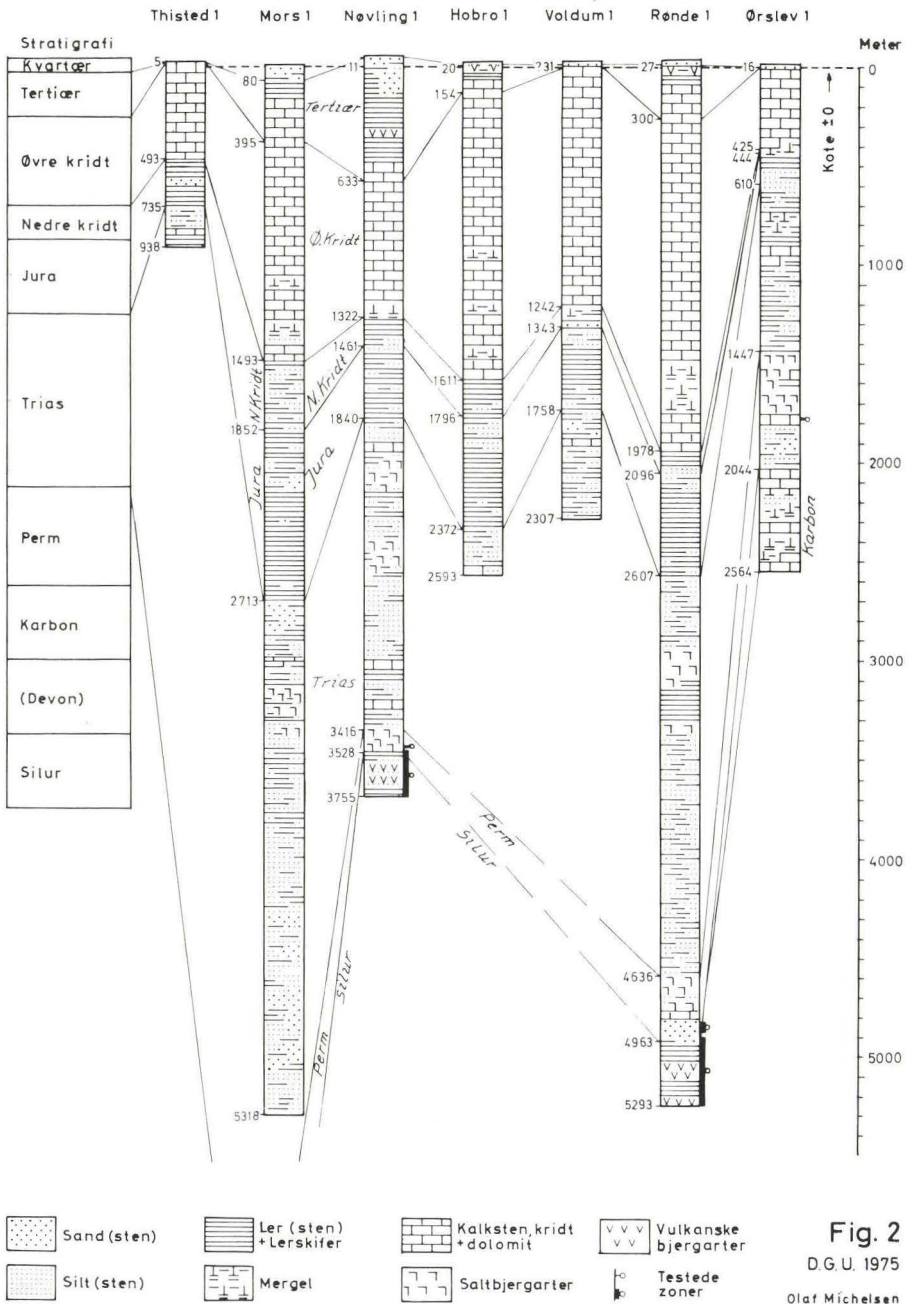


Fig. 2

D.G.U. 1975

Olaf Michelsen

Nordsø - boringer

Sydlig del af Central Graben. Stratigrafisk og lithologisk oversigt.

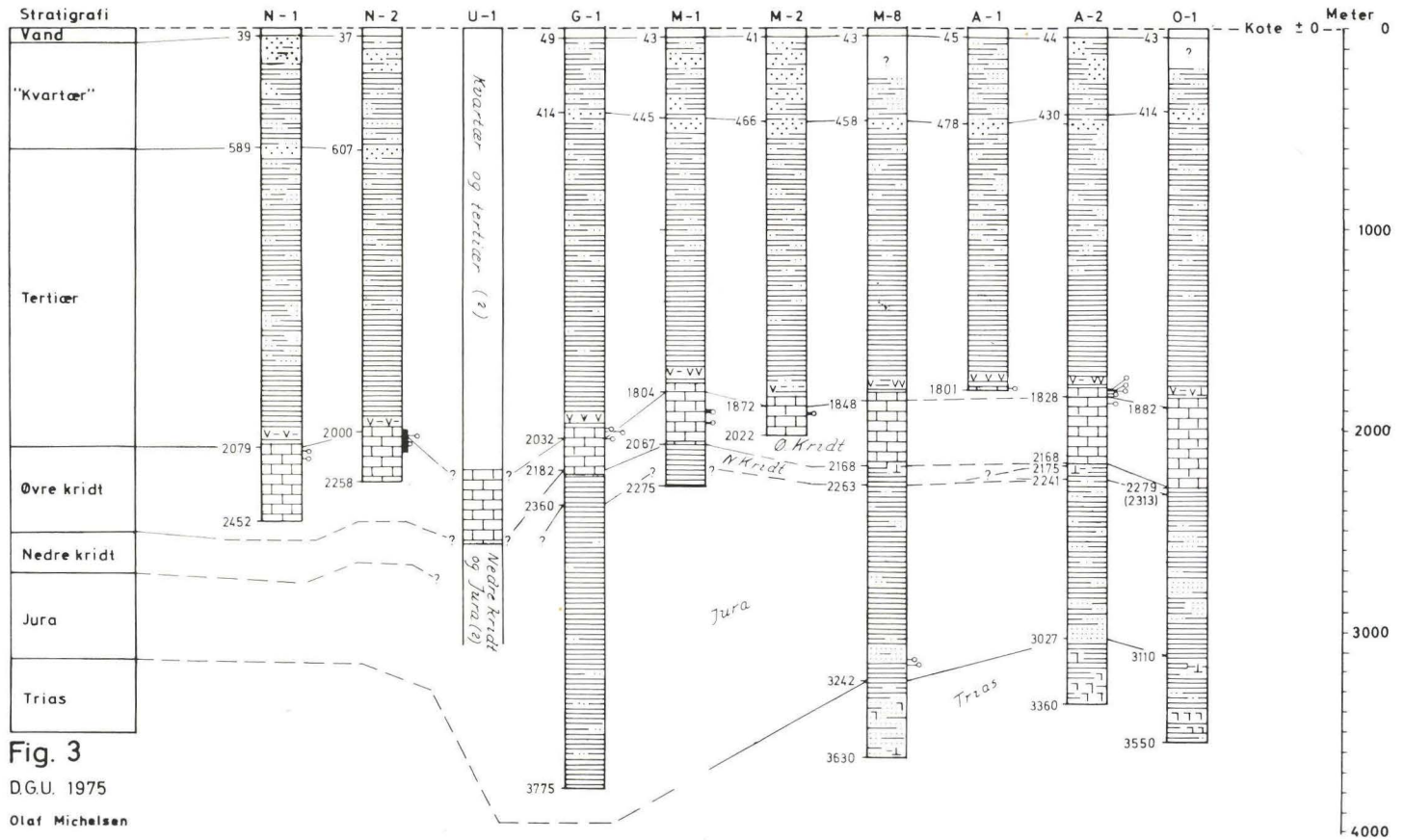
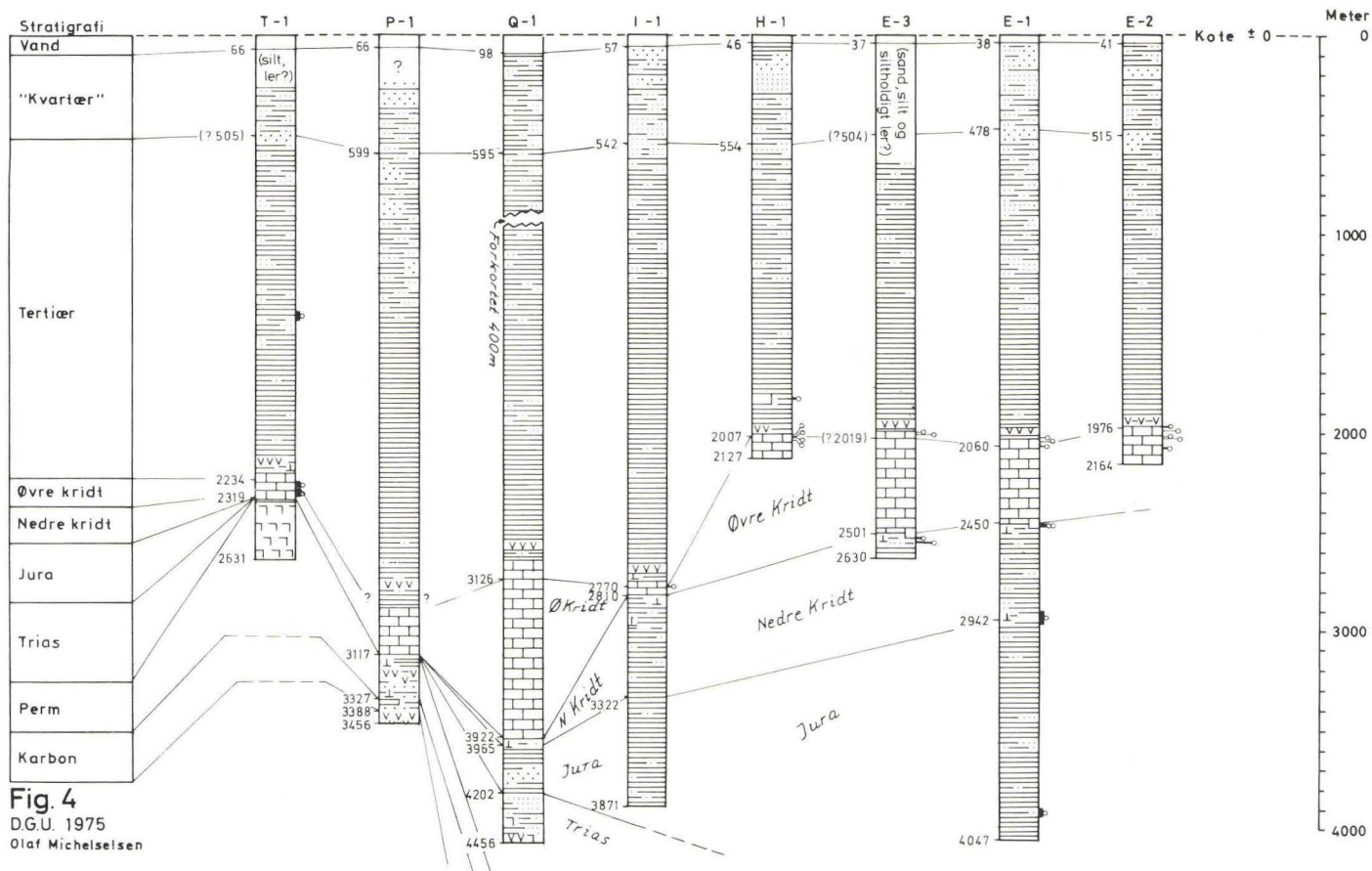


Fig. 3

D.G.U. 1975

Olaf Michelsen

Nordsø-boringer Nordlige del af Central Graben. — Stratigrafisk og lithologisk oversigt.





Nordsø-boringer. - Stratigrafisk og lithologisk oversigt.

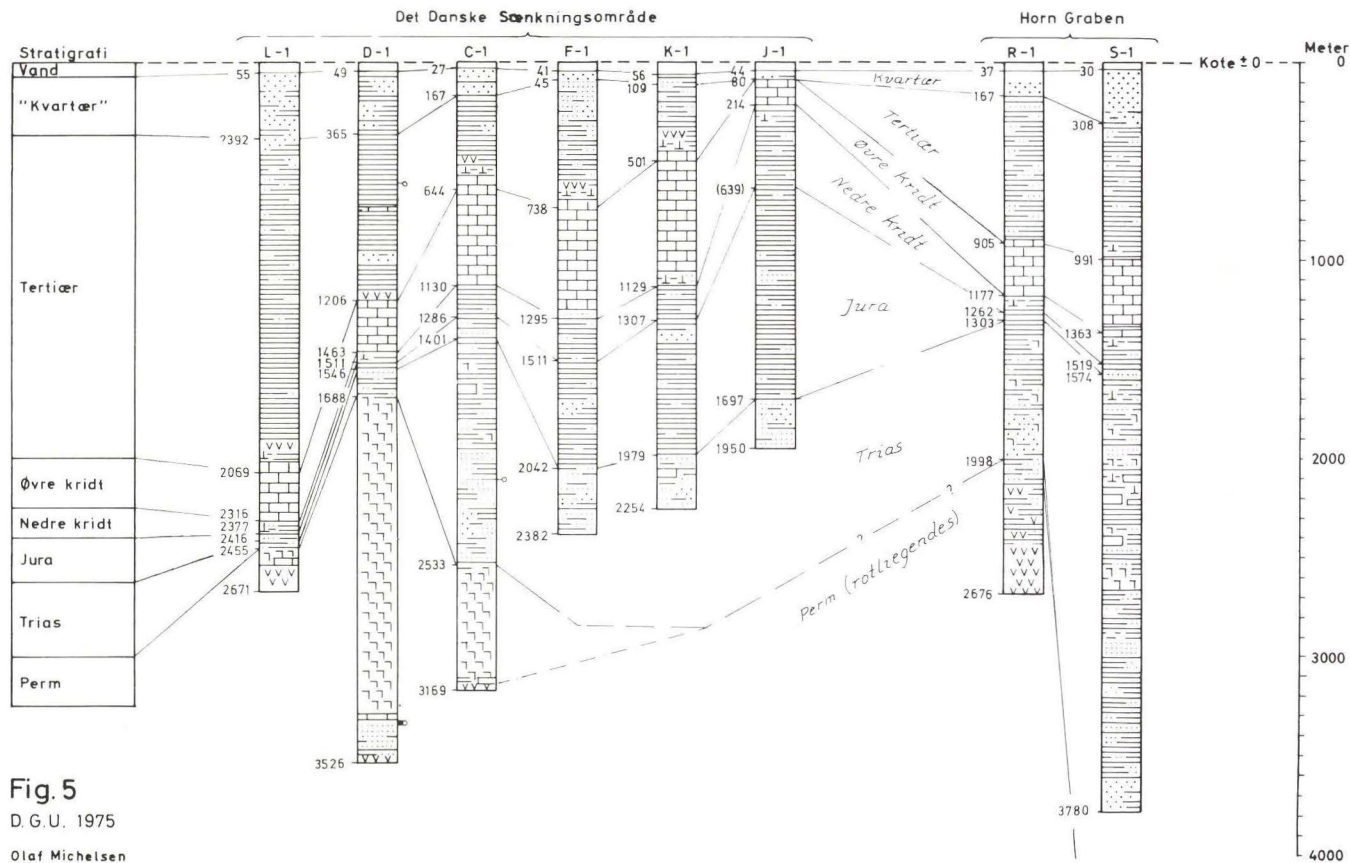
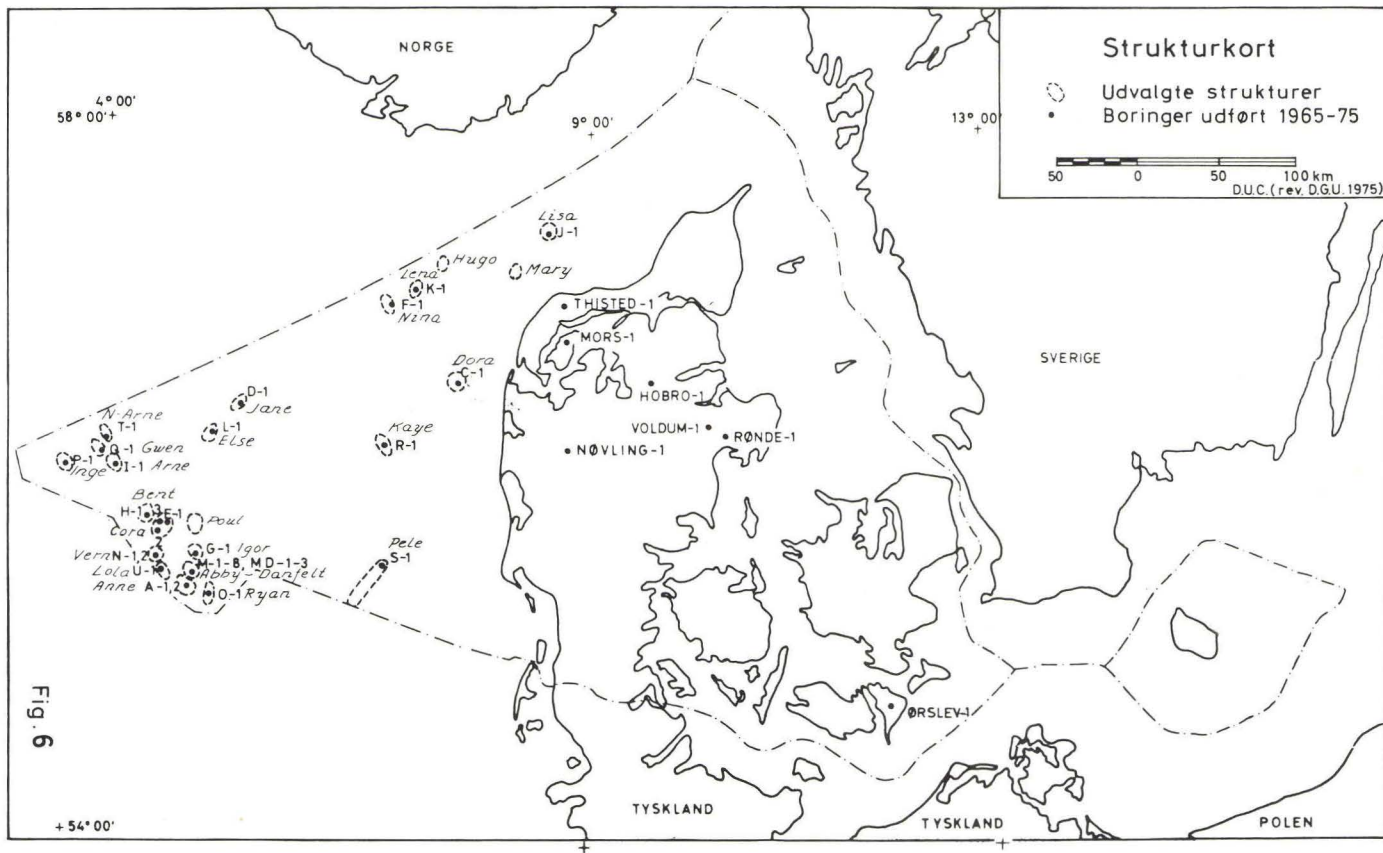


Fig. 5

D. G. U. 1975

Olaf Michelsen



Boring (og struktur)	Lokalitet	Påbegyndt	Afsluttet	Vanddybde*)	Slutdybde*)	Operator	Boreplatform	Interval*)	Testning Lag	Alder
Rønde 1	56°18'15" N 10°26'07" Ø	1965-10-23	1966-08-25	Landboring	5293 m	Gulf	Oilwell 940E boretårn	4823-4830 m	Kalksten (dolomitisk)	Zechstein
								4837-4846 m		
								4855-4860 m		
								4866-4873 m		
								4902-4916 m	Sandsten	Rotliegendes
Dansk Nordsø A-1 (Anne)	55°24'17" N 05°03'42" Ø	1966-08-27	1966-09-28	45 m	1801 m	Gulf	Glomar IV (skib)	4898-5238 m	Sandsten, lersten	Rotliegendes, silur
								4898-5293 m	Sandsten, lersten	Rotliegendes, silur
								4950-4956 m	Sandsten	Rotliegendes, silur
								4959-4970 m		
								Nøvling 1	56°10'09" N 08°48'36" Ø	1966-09-13
3523-3755 m	Lersten, siltsten	Silur								
Mors 1	56°54'00" N 08°53'05" Ø	1966-12-13	1967-09-21	Landboring	5318 m	Gulf	Oilwell 940E boretårn			
Dansk Nordsø A-2 (Anne)	55°24'23" N 05°03'37" Ø	1967-07-30	1967-10-23	44 m	3360 m	Gulf	Maersk Explorer	1777-1781 m	Kalksten	Danien
								1787-1791 m	Kalksten	Danien
								1789-1791 m	Kalksten	Danien
								1796-1805 m	Kalksten	Danien
								1810-1817 m	Kalksten	Danien
1857-1869 m	Kalksten	Øvre kridt								
Thisted 1	57°01'26" N 08°39'10" Ø	1967-10-01	1967-10-11	Landboring	938 m	Gulf	Oilwell 940E boretårn			
Dansk Nordsø B-1	55°42'32" N 04°02'09" Ø	1967-10-30	1968-01-09	41 m	3616 m	Gulf	Maersk Explorer	3004 m	Sand	Jura
Ørslev 1	54°46'55" N 11°59'02" Ø	1967-10-31	1968-01-09	Landboring	2564 m	Gulf	Oilwell 940E boretårn	1766-1776 m	Dolomit, kalksten	Perm

Boring (og struktur)	Lokalitet	Påbegyndt	Afsluttet	Vanddybde*)	Slutdybde*)	Operator	Boreplatform	Interval*)	Testning Lag	Alder
Dansk Nordsø C-1 (Dora)	56°36'42" N 07°40'00" Ø	1968-01-19	1968-03-04	27 m	3169 m	Gulf	Maersk Explorer	2098-2098 m	Sandsten	Trias
Dansk Nordsø D-1 (Jane)	56°25'30" N 05°31'52" Ø	1968-03-27	1968-05-27	49 m	3526 m	Gulf	Maersk Explorer	613- 616 m	Sand	Tertiær
Dansk Nordsø E-1 (Cora)	55°43'52" N 04°51'04" Ø	1968-05-29	1968-08-15	38 m	4047 m	Gulf	Maersk Explorer	3313-3341 m	Sandsten	Rotliegendes
								2014-2018 m	Kalksten	Danien
								2028-2042 m	Kalksten	Danien
								2059-2070 m	Kalksten	Øvre kridt
								2448-2473 m	Kalksten, mergelsten, lersten	Nedre kridt
2467-2477 m	Kalksten, lersten	Nedre kridt								
2891-2962 m	Lersten	Nedre kridt/jura								
3884-3921 m	Lersten	Jura								
Dansk Nordsø E-2 (Cora)	55°42'32" N 04°44'39" Ø	1968-08-20	1968-10-02	41 m	2164 m	Gulf	Maersk Explorer	1965-1968 m	Kalksten	Danien
								1987-1991 m	Kalksten	Øvre kridt
								2007-2012 m	Kalksten	Øvre kridt
								2019-2028 m	Kalksten	Øvre kridt
								2069-2076 m	Kalksten	Øvre kridt
Dansk Nordsø F-1 (Nina)	57°01'53" N 06°54'29" Ø	1968-10-05	1968-10-20	41 m	2382 m	Gulf	Maersk Explorer			
Dansk Nordsø G-1 (Igor)	55°35'05" N 05°09'46" Ø	1968-10-26	1968-12-11	49 m	3775 m	Gulf	Maersk Explorer	1978-1984 m	Kalksten	Danien
								1995-1999 m	Kalksten	Danien
								2039-2045 m	Kalksten	Øvre kridt
								1811-1815 m	Kalksten,	Tertiær (eocæn)
Dansk Nordsø H-1 (Bent)	55°46'27" N 04°38'48" Ø	1968-12-13	1969-01-30	46 m	2127 m	Gulf	Maersk Explorer	1820-1823 m	lersten	
								2001-2004 m	Kalksten	Danien
								2011-2016 m	Kalksten	Øvre kridt
								2024-2027 m	Kalksten	Øvre kridt
								2030-2034 m	Kalksten	Øvre kridt



Boring (og struktur)	Lokalitet	Påbegyndt	Afsluttet	Vand- dybde*)	Slut- dybde*)	Operator	Boreplatform	Interval*)	Testning Lag	Alder
Dansk Nordsø I-1 (Arne)	56°03'10" N 04°14'60" Ø	1969-02-05	1969-04-09	57 m	3871 m	Gulf	Maersk Explorer	2762-2768 m	Kalksten	Danien
Dansk Nordsø J-1 (Lisa)	57°25'57" N 08°33'06" Ø	1969-12-23	1970-01-16	44 m	1950 m	Gulf	Maersk Explorer			
Dansk Nordsø K-1 (Lena)	57°07'38" N 07°09'43" Ø	1970-01-21	1970-02-09	56 m	2254 m	Chevron	Maersk Explorer			
Dansk Nordsø L-1 (Else)	56°15'10" N 05°14'55" Ø	1970-09-21	1970-10-15	55 m	2671 m	Chevron	Maersk Explorer			
Dansk Nordsø M-1 (Abby-Danfelt)	55°28'10" N 05°08'02" Ø	1971-03-08	1971-05-08	43 m	2275 m	Gulf	Britannia	1895-1909 m 1952-1958 m	Kalksten Kalksten	Øvre kridt Øvre kridt
Dansk Nordsø N-1 (Vern)	55°34'44" N 04°44'47" Ø	1971-05-11	1971-06-19	39 m	2452 m	Gulf	Britannia	2090-2101 m 2132-2137 m	Kalksten Kalksten	Øvre kridt Øvre kridt
Dansk Nordsø M-2 (Abby-Danfelt)	55°28'56" N 05°06'04" Ø	1971-06-23	1971-07-19	44 m	2022 m	Gulf	Britannia	1874-1883 m	Kalksten	Øvre kridt
Dansk Nordsø M-3 (Abby-Danfelt) - (side track)	55°28'10" N 05°08'02" Ø	1971-10-05	(1971-11-11) 1972-03-05	43 m	2593 m	Gulf	Britannia			
			1972-03-20	-	2429 m	-	-	2274-2283 m 2313-2322 m	Kalksten Kalksten	(Øvre kridt) (Øvre kridt)
Dansk Nordsø M-4 (Abby-Danfelt)	55°28'10" N 05°08'02" Ø	1971-11-12	1971-12-15	43 m	2345 m	Gulf	Britannia	2216-2225 m 2255-2264 m	Kalksten Kalksten	(Øvre kridt) (Øvre kridt)
Dansk Nordsø M-5 (Abby-Danfelt)	55°28'10" N 05°08'02" Ø	1971-12-15	1972-01-22	43 m	2307 m	Gulf	Britannia	2174-2183 m 2225-2234 m	Kalksten Kalksten	(Øvre kridt) (Øvre kridt)
Dansk Nordsø M-6 (Abby-Danfelt)	55°28'10" N 05°08'02" Ø	1972-01-22	1972-02-28	43 m	2317 m	Gulf	Britannia	2170-2179 m 2209-2219 m	Kalksten Kalksten	(Øvre kridt) (Øvre kridt)
Dansk Nordsø O-1 (Ryan)	55°22'02" N 05°19'19" Ø	1972-10-09	1973-01-13	43 m	3550 m	Gulf	Transocean II			
Dansk Nordsø P-1 (Inge)	56°02'04" N 03°46'10" Ø	1973-01-21	1973-03-18	66 m	3456 m	Gulf	Zapata Nordic			
Dansk Nordsø Q-1 (Gwen)	56°05'30" N 04°06'15" Ø	1973-03-28	1973-10-04	60 m	4456 m	Gulf	Zapata Nordic			
Dansk Nordsø R-1 (Kaye)	56°12'57" N 06°53'46" Ø	1973-09-21	1973-12-08	37 m	2676 m	Chevron	Transworld 61			

Boring (og struktur)	Lokalitet	Påbegyndt	Afsluttet	Vanddybde*)	Slutdybde*)	Operator	Boreplatform	Interval*)	Testning Lag	Alder
Voldum 1	56°23'02" N 10°16'01" Ø	1974-03-04	1974-04-15	Landboring	2307 m	Gulf				
Dansk Nordsø M-7 (Abby-Danfelt)	55°28'10" N 05°08'02" Ø	1974-04-15	1974-05-07	43 m	2732 m	Gulf	Orion			
Hobro 1	56°36'30" N 09°38'04" Ø	1974-06-07	1974-07-10	Landboring	2593 m	Gulf				
Dansk Nordsø M-8 (Abby-Danfelt)	55°28'44" N 05°06'42" Ø	1974-07-03	1974-09-02	43 m	3630 m	Gulf	Orion	3128-3131 m 3157-3161 m	Sand Sand	Mellem jura Mellem/nedre jura
Dansk Nordsø E-3 (Cora)	55°44'01" N 04°46'30" Ø	1974-09-17	1974-11-05	37 m	2630 m	Gulf	Orion	1981-1987 m 1998-2001 m 2512-2524 m 2538-2550 m	Kalksten Kalksten Silt, kalksten Kalksten	Danien Danien Nedre kridt Nedre kridt
Dansk Nordsø S-1 (Pele)	55°30'57" N 06°55'18" Ø	1975-02-07	1975-04-14	30 m	3780 m	Chevron	Orion			
Dansk Nordsø N-2 (Vern)	55°34'50" N 04°46'31" Ø	1975-04-24	1975-06-12	37 m	2258 m	Chevron	Orion	1982-2161 m	Kalksten	Danien-øvre kridt
Dansk Nordsø T-1 (N-Arne)	56°11'40" N 04°10'18" Ø	1975-05-05	1975-07-27	66 m	2631 m	Chevron	Ocean Voyager	2008-2026 m 1391-1428 m 2236-2266 m 2274-2313 m	Kalksten Sand, silt Kalksten Kalksten	Øvre kridt Tertiær Øvre kridt Øvre kridt
Dansk Nordsø MD-1 (Abby-Danfelt)	55°28'10" N 05°08'05" Ø	1975-06-16	1975-07-10	42 m	2499 m	Dansk Boreselskab	Orion			
Dansk Nordsø MD-3 (Abby-Danfelt)	55°28'10" N 05°08'05" Ø	1975-07-10	1975-08-05	42 m	2608 m	Dansk Boreselskab	Orion			
Dansk Nordsø MD-2 (Abby-Danfelt)	55°28'10" N 05°08'05" Ø	1975-08-05	1975-08-24	42 m	2689 m	Dansk Boreselskab	Orion			
Dansk Nordsø U-1 (Lola)	55°30'03" N 04°48'08" Ø	1975-07-29	bores	43 m		Chevron	Ocean Voyager			

\* Alle dybder er angivet i meter under havniveau for Nordsø-boringer og i meter under terræn for landboringer.  
D.G.U. 24. september 1975.

# Danmarks råstofproduktion i 1974 - opgjort ud fra Råstoflovens retningslinier

Erik Heller

Heller, Erik: Danmarks råstofproduktion i 1974 – opgjort ud fra Råstoflovens retningslinier. *Danm. geol. Unders., Årbog 1975*, pp. 133–137. København, 3. september 1976.

Ud fra de lovpligtige indberetningsskemaer for råstofindvinding (lov nr. 285 af 7. juni 1972, Råstofloven) er tilvejebragt en opgørelse over Danmarks råstofproduktion i 1974, omfattende sand/grus/sten, kvartssand, ler, kiselgur, tørv, kalk/kridt, flint, skifer og granit.

Råstofloven – lov nr. 285 af 7. juni 1972 om udnyttelse af sten, grus og andre naturforekomster i jorden og på søterritoriet – giver myndighederne indseende med udnyttelsen af landets råstoffer og samtidig et grundlag for en samordning af de forskellige myndigheders behandling af spørgsmål vedrørende råstofindvinding. Udnyttelsen af råstofforekomster skal således finde sted efter en samlet vurdering af foreliggende samfundsmæssige hensyn.

Ifølge Råstofloven skal enhver aktuel råstofindvinding på landområdet anmeldes og godkendes af amtskommunen, mens etablering af nye indvindingssteder kræver tilladelse af samme instans.

I forbindelse med anmeldelses-sager og tilladelses-sager, henholdsvis § 5-sager og § 4-sager i Råstofloven, har myndighederne mulighed for at fastsætte forskellige vilkår for gravningen. Som standardmæssige betingelser kan nævnes den i loven fastsatte udnyttelsesfrist på 10 år og pålæggelse af vilkår om arealernes tilstand og udseende efter endt udnyttelse, samt at der årligt indberettes til Danmarks Geologiske Undersøgelse (DGU) om art og mængde af de forekomster, der indvindes. Hermed er der skabt mulighed for i løbet af nogle år at opstille forholdsvis sikre årlige produktionsopgørelser.

Tidligere publicerede opgørelser over forbruget af geologiske råstoffer, f.eks. grus, sand, ler, kalk og kridt, således som de findes i Forureningsrådets publikation nr. 19 (Råstofindvinding, bygge- og anlægsvirksomhed, København 1971), og Dansk Ingeniør Forenings grus-ressourceudvalgs betænkning (Betænkning vedrørende Danmarks ressourcer af mineralske råstoffer til bygge- og anlægsvirksomhed, København 1972) bygger på mere eller mindre løse skøn og må derfor tages med store forbehold.



I Danmarks Statistiks publikationer findes bl.a. opgørelser over industriens salg af egne produkter fordelt efter mængde og værdi; men oplysningerne er behæftet med flere mangler, set fra et råstofmæssigt synspunkt. Eksempelvis kan nævnes, at produktionen af kalk og kridt samt ler ikke omfatter alle industriprodukter, og at produktionsmængder for f.eks. granit, fuldstændigt mangler. Den samlede produktion af sten, grus og sand vil altid være vanskelig at opgøre på grund af det store antal forskelligartede produktionsvirksomheder. En stor del af produktionen sker i mindre grusgrave, der ikke indgår i Danmarks Statistiks opgørelser, hvor kun virksomheder medtages, der regelmæssig beskæftiger 6 ansatte og derover.

Efter Råstoflovens ikrafttræden har DGU, efter aftale med amtskommunerne, modtaget dels fotokopier af alle tilladelser til råstofindvinding, der er meddelt i medfør af Råstoflovens § 4, og dels kopier af afgørelser angående igangværende grave efter § 5. Materialet er nødvendigt for instituttet i forbindelse med indberetningssystemet.

Virksomhedernes meddelelse om den årlige produktion sker på standardindberetningsskemaer. Hvis indberetningspligten opfyldes, og skemaerne udfyldes korrekt, fås ikke blot oplysninger om det årlige forbrug af de enkelte råstoffer, men også oplysninger om materialernes anvendelse til forskellige formål, herunder hvor store mængder, der eksporteres. Med hensyn til graveforholdene skal virksomhederne give oplysninger om overjordens mægtighed, gravedybde, om gravning finder sted under vand, om vandspejlets beliggenhed samt om der sker sænkning af grundvandspejlet.

Ud fra indberetningsskemaerne er det muligt at foretage en opgørelse over mængden af opgravede råstoffer i 1974. Bearbejdelsen af materialet, der er afsluttet den 31/12 1975, omfatter de enkelte amtskommuner med samtidig opdeling af produktionen for de forskellige råstofftyper. Tabel 1. Registreringen af gravetilladelser og godkendelser sker på en sådan måde, at beregning af råstofproduktionen for de enkelte kommuner, ligeledes opdelt efter råstofftyper, er mulig; en sådan beregning sker sideløbende med amtskommune-opgørelserne.

Opstillingen over produktionsmængden er baseret på de ca. 1800 tilladelser og godkendelser, der er behandlet af amtskommunerne.

Indsamlingen af det til råstofstatistikken nødvendige materiale krævede udsendelse af ca. 2.500 spørgeskemaer, idet enkelte virksomheder fik påkrav indtil 3 gange. Ved tidsfristens udløb manglede ca. 100 besvarelser, hvorom amtskommunerne blev orienteret. Ifølge loven kan der ved manglende indberetning indgives politianmeldelse, med bøde som følge.

Af indberetningsskemaerne fremgår endvidere, at der i 1974 fra Sønderjyllands amtskommune var en eksport til Vest-Tyskland på ca. 430.000 m<sup>3</sup> sand og grus, fra 20 registrerede grusgrave. Eksportmængden afviger fra de



til toldvæsnet givne oplysninger, der for 1974 udgjorde ca. 1.320.000 m<sup>3</sup> grusmateriale, hvoraf ca. 740.000 m<sup>3</sup> udførtes over landegrænsen.

Eksporten over landegrænsen må formodes fortrinsvis at omfatte materiale fra Sønderjyllands amtskommune, da transportudgifterne ellers må virke for kraftigt ind på salgspriserne. Uoverensstemmelsen mellem de angivne eksportmængder kan skyldes, at eksport er sket fra arealer, hvor de tilhørende anmeldelsessager på det tidspunkt hvor oplysningerne blev indsamlet, endnu ikke var færdigbehandlet af amtskommunen.

De i tabel 1 anførte mængder må for landet som helhed formodes at være mindre end de faktiske produktionstal, idet ikke alle amtskommuner har færdigbehandlet de indkomne ansøgninger og anmeldelser. En rundspørge til amtskommunerne d. 31-8-1975 angående antallet af sager gav som resultat, at der tilsammen var indgået ca. 740 ansøgninger (§ 4-sager) og ca. 2690 anmeldelser (§ 5-sager). På samme tidspunkt var der ved DGU registreret 438 § 4-sager og 870 § 5-sager, mens der på skæringsdagen for 1974-produktionen d. 31-12-1975, var registreret henholdsvis 516 § 4-sager og 1290 § 5-sager. Tabel 2.

Efterhånden som amtskommunernes behandling af anmeldelses-sager afsluttes, således at kun ansøgninger om etablering af nye grave resterer, vil produktionsregistreringens betydning forøges. Opgørelserne vil kunne benyttes til vurdering af det fremtidige behov for råstoffer, hvilket sammen med oplysningerne fra den forestående råstofkortlægning vil danne udgangspunkt for planlægning af udnyttelsen af landets råstofressourcer, såvel for de berørte erhverv, som for den offentlige sektor.

## English summary

The Act on Exploitation of Geological Raw Materials, Act No. 285 of June 7. 1972, covering raw materials such as stone, gravel and other geological deposits on land and in the territorial sea. The Act enables the planning authorities to control the exploitation of Denmark's raw materials, and it provides the means for a nation-wide coordination of the administration of the licencing of permissions to exploit the geological raw materials. The Act is on land administered by the counties.

An annual survey of the consumption will be available in the future, based on the reports which under the Act are to be submitted to the Geological Survey of Denmark by all persons and companies undertaking the exploitation of raw materials.

A survey of the annual consumption for 1974 of the individual raw materials in the different counties is reported in table 1. A specification of the annual consumption in the different municipalities has been calculated but is not presented here. The total annual consumption is greater than indicated in table 1, because not all pits and quarries are recorded, at this moment.

In table 2 the pits and quarries recorded in the different counties are listed.

Table 1. Mængde af opgravede råstoffer i 1974 beregnet ud fra DGU-spørgeskemaer.

Amt Kode	Amtskommune	Sten-Grus-Sand m <sup>3</sup>	Ler m <sup>3</sup>	Kalk-Kridt m <sup>3</sup>	Moler-Kiselgur m <sup>3</sup>	Tørv m <sup>3</sup>	Granit-Sandsten m <sup>3</sup>	Diverse
015	København	1.812.625	560					
020	Frederiksborg	1.593.007	108.400					
025	Roskilde	2.147.052	10.000	12.111				104.600 m <sup>3</sup> flint
030	Vestsjælland	384.213	35.415					
035	Storstøm	1.458.064	19.240	416.100				10.500 m <sup>3</sup> flint
040	Bornholm	8.672	9.000				160.450 granit	1.000 m <sup>3</sup> skifer
042	Fyn	808.804	34.885					
050	Sønderjylland	3.789.978	156.970			500		
055	Ribe	314.829	20.025					
060	Vejle	2.507.682	21.475		13.160 kiselgur			49.000 m <sup>3</sup> kvartssand
065	Ringkøbing	85.700						
070	Århus	2.193.851	509.639	462.644		2.000		
076	Viborg	393.702	43.400	125.000				
080	Nordjylland	1.590.240	600.460	1.976.000		259.445		
		19.088.419	1.569.469	2.991.855	13.160 kiselgur	261.945	160.450 granit	

Tabel 2.

Antal tilladelser og godkendelser pr. <sup>31</sup> / <sub>12</sub> 1975	015 København	020 Frederiksborg	025 Roskilde	030 Vestsjælland	035 Storstrøm	040 Bornholm	042 Fyn	050 Sønderjylland	055 Ribe	060 Vejle	065 Ringkøbing	070 Århus	076 Viborg	080 Nordjylland
<i>§ 4 Råstof</i>														
Sand-Grus-Sten	4	18	6	26	24	4	57	66	34	67	12	29	46	52
Ler		1	1	5			7	15	6	3	1	7	6	3
Kalk-Kridt												1	1	3
Moler-Kiselgur														
Tørv								1					1	4
Granit-Sandsten						3								
Andet						1							1	
Ialt § 4: 516	4	19	7	31	24	8	64	82	40	70	13	37	55	62
Afslag, total: 105		20	3	15			28	3	1	22	1	4	8	
Ophørt, total: 27		3	1	2			5	7	2	4			2	1
<i>§ 5 Råstof</i>														
Sand-Grus-Sten	20	127	71	12	59	16	157	86	17	108	1	120	73	144
Ler	3	38	3	3	4	3	8	25	1	16		8	17	26
Kalk-Kridt		1	1		12					1		4	9	8
Moler-Kiselgur										7			29	
Tørv				1	1		2	2	1			3	2	22
Granit-Sandsten						14								
Andet									1	1				2
Ialt § 5: 1290	23	166	75	16	76	33	167	113	20	133	1	135	130	202
Afslag, total: 169	2	32	2	21		5	31		10	54	1	11		
Ophør, total: 64		5	2		4	5	16	9	4	13	2	3		1
Ialt § 4 og § 5: 1806	27	185	82	47	100	41	231	195	60	203	14	172	185	264



H. Salen



# Hilmar Ødum

26.1.1900–3.4.1975

## Ole Berthelsen og Leif Banke Rasmussen

Berthelsen, Ole og Rasmussen, Leif Banke: Hilmar Ødum. 26.1.1900–3.4.1975. *Danm. geol. Unders., Årbog 1975*, pp. 138–157. København, 3. september 1976.

The article gives two contributions to a picture of the late director of the Geological Survey of Denmark, Dr. Hilmar Ødum. Ole Berthelsen describes Dr. Ødum as a student of the Danish Danian deposits and their faunas and as a student of hydrogeologic problems as well. Leif Banke Rasmussen describes Dr. Ødum as the all-round geologist and scientist.

Danmarks Geologiske Undersøgelses direktør fra 1937–1965, Hilmar Agerlin Ødum, døde den 3. april 1975. Til minde om Ødums betydelige indsats som geolog og leder ved instituttet giver to af dets medarbejdere i to uafhængigt skrevne artikler en skildring af ham. Den første, som er skrevet af Ødums efterfølger som direktør på DGU, lægger hovedvægten på hans to hovedarbejdsområder: udforskningen af Danmarks danienaflejringer og Danmarks grundvandsforhold. Som afslutning på denne skildring gives et rids af Ødum som chef. Den anden artikel, der behandler Ødum som den alsidige geolog og naturforsker, supplerer billedet af en meget aktiv og alsidig geologisk leder.

## Ødum som danien-forsker og grundvandsgeolog

Hilmar Agerlin Ødum blev født i Næstved den 26. januar 1900 som søn af lærer Niels Ødum og hustru. Hans far var meget interesseret i naturfagene, specielt botanik. Ødums interesse for det naturhistoriske fagområde er efter hans eget udsagn et resultat af en arvelig belastning kombineret med en påvirkning gennem skoleundervisningen på Herlufsholm, hvor især hans lærer i naturhistorie, lektor Ferdinand og hans matematiklærer, Julius Petersen, fik afgørende indflydelse på hans fremtidige virke.

Ødum forlod Herlufsholm som student i 1917 og fortsatte sin uddannelse ved Københavns Universitet. Han afsluttede sit studium med magisterkonferens i geologi i 1923 og kunne nu koncentrere sig om sin virksomhed på

DGU. Her var han allerede i 1918 blevet ansat som sommerassistent under statsgeolog Axel Jessen. Han avancerede i 1920 til honorarlønnet assistent og aflønnedes fra starten med en fyrstelig gage på 125 kr. pr. måned. I 1926 blev Ødum udnævnt til leder af instituttets borearkiv, og han varetog denne funktion – fra 1931 som afdelingsgeolog – indtil han i 1937 tiltrådte som direktør for DGU.

Som gymnasiast i Næstved brugte Ødum meget af sin fritid til at udforske Faxe Kalkbrud og indsamle forsteninger. Den derved skabte interesse for kridt- og kalkaflejringernes geologi gjorde det naturligt for ham at vælge disse dannelser som hovedemne for hans geologiske studier, hvorunder han modtog megen støtte fra museumsinspektør Ravn. Allerede som 22-årig publicerede kridtgeologen Ødum sin første afhandling i D.G.F.'s skrifter. På foranledning af Ravn havde han foretaget en gennemgang af museets omfangsrige materiale af *Inoceramus tegulatus* v. Hag. fra det danske skrivekridt og kunne på grundlag af denne undersøgelse supplere v. Hagenovs sporadiske omtale af den pågældende art med en fyldestgørende artsbeskrivelse med tilhørende fotografiske afbildninger.

Året efter – d.v.s. 1923 – publicerede Ødum sammen med Axel Jessen en afhandling i DGU's II Række om "*Senon og Danien ved Vokslev*". De to forfattere havde delt opgaven, således at Axel Jessen beskrev lejringsforholdene på lokaliteten, medens Ødum dels tog sig af faunaen, dels redegjorde for de palæontologiske og stratigrafiske forhold. Han gjorde en del ud af artsbeskrivelserne og opstillede herunder 3 nye arter. Det kunne måske forekomme overflødigt at nævne denne arbejdsmetode, når man skal omtale en kridtgeologs virksomhed, men det er karakteristisk for Ødum, at det er den sidste afhandling, hvor han optræder som egentlig palæontolog, således at forstå, at han ikke blot bestemmer men også beskriver de forsteninger, han har fundet ved sine undersøgelser. I de følgende arbejder indskrænker han sig i reglen kun til at bringe slægts- og artsnavn på de fundne fossiler samt bemærkninger om deres forekomst og stratigrafiske udbredelse.

I 1925 modtog Ødum universitetets guldmedalje for besvarelsen af den naturhistoriske prisopgave, hvis titel var: "En stratigrafisk undersøgelse af danien'ets kalksten i Jylland". Afhandlingen, som var på op imod 300 foliosider, indeholdt beskrivelser af 242 jyske kalklokaliteter, en imponerende indsats, som også udløste megen ros fra bedømmelseskomitéens side, dog med tilføjelse af et hjertesuk, idet man fandt, at det måske havde været mere heldigt, såfremt forfatteren havde ofret mindre arbejde på beskrivelse af de mange grave og borer, og til gengæld havde kastet sig over forholdsvist få større og vigtigere forekomster med større grundighed. Artsbeskrivelserne forekommer ikke bedømmelsesudvalget fuldt tilfredsstillende – ejheller helt pålidelige. De er tilsyneladende kun medtaget for at tjene som

arbejdsgrundlag og hjælpemiddel ved den stratigrafiske opdeling af lagserien. Ødum fik iøvrigt megen ros for sin besvarelse, som efter bedømmelsesudvalgets skøn måtte betegnes som et væsentligt fremskridt i kendskabet til det jyske Danien's stratigrafiske forhold og et udmærket grundlag for senere supplerende undersøgelser.

Ødum brugte sin prisopgave som grundlag for sin doktorafhandling, som blev udsendt i DGU's II. række året efter (d.v.s. 1926) og forsvaret den 15. februar 1927. Disputatsen er bygget op på den måde, at Ødum i et indledende historisk afsnit gør rede for den på daværende tidspunkt særdeles begrænsede viden om de jyske og fynske kalkaflejrings geologi. I det næste afsnit gives en fyldig beskrivelse af de undersøgte lokaliteter, som omfatter 180 kalkgrave, 21 kridtgrave samt 80 borer. For kalklokaliteternes vedkommende henfører han dem stratigrafisk til ældre eller yngre danium, idet han kun undtagelsesvis forsøger en finere opdeling i zoner fra A til D. Som hjælpemiddel ved den stratigrafiske inddeling har han naturligvis anvendt de i aflejringerne forekommende forsteninger. Han gør meget lidt ud af at beskrive de registrerede arter, hovedinteressen er her betydeligt koncentreret om at kunne udnytte fossilernes udbredelsesforhold som værktøj ved den stratigrafiske opdeling af lagserien.

I det stratigrafiske afsnit har Ødum på grundlag af bjergarter og forsteninger foretaget en opdeling af det jyske og fynske danien i ældre og yngre danien – ved brug bl.a. af de forskellige *Tylocidaris*-typer. Ældre Danien opdeler han yderligere i en zone A og en zone B. Tilsvarende kan det yngre Danium opdeles i en zone C og en zone D. Han forsøger derefter at anvende denne zoneopdeling på de sjællandske og skånske kalkaflejringer og konstaterer, at der er god overensstemmelse med hensyn til udviklingen inden for de danske og skånske områder, således at der kan opstilles et fælles skema for bjergarts- og fossilfordelingen inden for de 4 zoner.

Afhandlingen indeholder yderligere et meget spændende kapitel om de palæogeografiske forhold. Ødum skrev i indledningen til dette kapitel, at målet for en historisk-geologisk undersøgelse må være at udrede alle paleogeografiske forhold (af såvel fysisk som biologisk art), der ligger inden for den givne undersøgelses ramme. På det forhåndenværende grundlag er det kun muligt for forfatteren at vurdere problemerne vedrørende fordelingen af hav og land samt dybdeforholdene. Han når til den konklusion, at danium-sænkningen havde sit maximum i zone B, og at der ved overgangen til yngre Danium (zone C) indtræder hævnning og regression, som fortsætter til Daniumtidens afslutning.

Af særlig interesse i dette kapitel er et afsluttende afsnit, hvor Ødum gør opmærksom på, at den videre udredning af Daniets palæogeografi må baseres på studier af zoogeografisk og økologisk natur, bl.a. fordi disse for-



hold har betydning for de forskellige formers værdi som ledefossiler. Han gennemgår derefter de i afhandlingen omtalte ledefossiler med hensyn til disses forhold til sediment og bundform.

I 1928 publicerede Ødum en mindre afhandling om vort sydligste danium i DGF's skrifter. På grundlag af boreprøver påviste han her, at der i et område nord for Nakskov findes bryozokalk tilhørende det yngste danien (zone D), hvilende direkte på skrivekridt.

I årene 1932–33 udførtes på privat tysk initiativ to boreriger ved Langbrogård ved Sønderborg. Formålet med disse boreriger var at undersøge, hvorvidt der på denne lokalitet kunne findes udnyttelige saltforekomster i dybgrunden. De indhøstede erfaringer måtte ud fra et produktionsmæssigt synspunkt vurderes som særdeles utilfredsstillende, idet begge boreriger blev afsluttet i kridtaflejringer uden påvisning af saltlag. I videnskabelig henseende var boreprogrammets gennemførelse særdeles betydningsfuldt, idet man med de to boreriger opnåede en værdifuld forøgelse af vor viden om Sønderborgegnens geologiske opbygning. Resultaterne af de geologiske undersøgelser publiceredes i 1935 i DGU's skrifter (II række nr. 55). I denne afhandling har Ødum behandlet forsteningerne fra kalk- og kridtaflejringerne og har herunder kunnet påvise, at hele kalkserien ved Sønderborg (ca. 11 m) kan henføres til det yngste Danien, som således hviler direkte på skrivekridt.

Der skulle gå næsten 40 år, førend Ødum publicerede sin næste – og sidste – afhandling om kalk- og kridtaflejringer. Den kom i 1971 i SGU's skrifter og handlede om Danien og Maastrichtien på Skanør-halvøen. Da Ødum under krigen kom til Sverige, blev han modtaget med åbne arme af SGU's geologer, fordi man manglede en kridtgeolog på instituttet. Som et led i samarbejdet mellem SGU og Ødum påtog denne sig at bearbejde det tilvejebragte materiale af kridt- og kalkfossiler fra to boreriger ved Höllviken, der blev udført som et led i et svensk olie-efterforskningsprogram.

I årene 1945–48 lod rederiet A/B Nordstjernen udføre 30 boreriger på Skanør-halvøen med henblik på at undersøge mulighederne for tilstedeværelsen af en salthorst. Alle boreriger blev ført gennem kalkserien ned i skrivekridtet, den dybeste af dem til 100 m. Som en konsekvens af det etablerede samarbejde overdrog SGU Ødum at følge og bearbejde de pågældende boreriger. Resultaterne af Ødums undersøgelser er publiceret i en lille afhandling på 10 sider i SGU's serie C. Borerigerne gav ikke noget afgørende nyt, lagsierne i de enkelte boreriger var ret ensartede. Undersøgelserne gav således intet grundlag for en vurdering af de tektoniske forhold i større dybde.

Den lange pause i Ødums publikationsvirksomhed inden for kridtområdet skyldes, at Ødum fik andre arbejdsopgaver at tage vare på.



I 1926 vedtog folketinget en vandforsyningslov, som fik afgørende betydning for DGU's fremtidige virksomhed. Loven indeholdt en bestemmelse, hvorefter enhver, som lod en vandboring udføre, skulle indsende oplysninger om de gennemborede jordlag til DGU. Man ville med denne bestemmelse i loven sikre, at de ved borearbejde tilvejebragte oplysninger vedrørende de geologiske forhold ikke gik tabt for samfundet. Man opdagede imidlertid meget hurtigt, at de indsamlede oplysninger ikke blot kunne have værdi for dansk geologi, men også kunne gøre nytte i forbindelse med efterforskningen efter grundvandsforekomster til brug for husholdning og industri. Den 1. oktober 1926 etableredes en særlig afdeling – borearkivet – ved DGU med Ødum som leder. Hans første opgave var at organisere arkiverings-systemet. Han løste dette problem på en meget effektiv og elegant måde, idet han opbyggede en ordning, som nok var styret af faste rammer, men samtidig var flexibel i sit virke. Uanset den store mængde af borejournaler og prøver, som i de forløbne 50 år er tilgået instituttet, fungerer det Ødum'ske system perfekt.

En anden opgave for Ødum i denne opbygningsfase var at gøre befolkningen bekendt med, at der på DGU var etableret en afdeling for boringer, hvor man ikke blot indsamlede geologiske data, men også udøvede rådgivende virksomhed i forbindelse med placering af vandforsyningsanlæg. Denne opgave søgte han at løse gennem en betydelig foredragsvirksomhed og ved at udsende artikler om borearkivets funktioner i en række fagblade. Det lykkedes Ødum med denne aktivitet at give borearkivet en central placering inden for dansk vandforsyningspolitik, men denne virksomhed foregik ikke uden sværdslag, idet en gruppe ingeniører følte, at Ødum med sine kampagner forsøgte at trænge ind i et fagområde, som rettelig tilkom teknikerstanden. For at forstå denne holdning, bør man vide, at der i medfør af den førromtalte vandforsyningslov var opbygget et domstolssystem, således at der i hvert amt var etableret landvæsenskommissioner, som havde til opgave at give vandindvindingstilladelser. Til de enkelte kommissioner var der knyttet teknisk sagkyndige personer, som skulle bistå kommissionerne. Ingeniørerne var af den opfattelse, at dette arbejdsområde helt indlysende måtte være forbeholdt ingeniører, og det vakte derfor en del uro, at en del kommissionsformænd foretrak at bruge geologer. Axel Jessen, Viktor Madsen og Milthers havde således en betydelig funktion som teknisk-sagkyndige. Man gik så vidt, at man appellerede en af en landvæsenskommission afsagt kendelse til en overlandvæsenskommission med den begrundelse, at den teknisk sagkyndige ikke var ingeniør men kun geolog. Man havde nu ikke held med denne aktion, idet den pågældende overlandvæsenskommission afviste klagen – måske nok under påvirkning af, at der også i overlandvæsenskommissionen sad en geolog som teknisk sagkyndig.

Da Ødum i 1935 som et led i den igangværende informationsvirksomhed om borearkivets funktioner publicerede en afhandling om grundvand og vandindvinding, brød stormen løs, idet Ingeniørforeningen gik til ministeriet og anmodede om, at den pågældende publikation blev trukket tilbage. Ødum havde bygget sin afhandling meget logisk op, idet den indledtes med et afsnit om grundvandsdannelse, hvorefter han behandlede jordlagenes vandføringssevne og de forskellige vandførende jordlag samt omtalte vandspejlsforholdene i kilder, brønde og borer. Så langt så godt. Ødum havde imidlertid tilføjet et afsnit om anlæg af vandværker og et afsnit om retten til vandindvinding, og var dermed efter ingeniørforeningens opfattelse trængt ind i ingeniørfagets naturlige arbejdsområde. Ministeriet fulgte imidlertid ikke foreningens henstilling. Ødums oversigt blev udsendt efter planen og fungerede i mange år som en populær håndbog for vandværksfolk.

Ødum havde i mange år interesseret sig for de grundvandskemiske forhold. I 1930 udsendte han sammen med Johs. Andersen en afhandling med titlen "Om forekomsten af saltførende aflejringer i Danmarks undergrund". I denne publikation gennemgås indledningsvis de i D.G.U.'s analysearkiv værende oplysninger vedrørende saltholdigt grundvand. Der gøres derefter rede for de geologiske forhold på de enkelte saltvandslokaliteter. Som konklusion foreslår forfatterne at opdele de registrerede forekomster efter saltvandstyper, 1) marint infiltrationsvand, 2) residualvand (d.v.s. stagnerende saltvand fra selve det hav, hvori sedimentet er aflejret) og 3) mineralvand (d.v.s. saltvand, dannet af opløst salt fra saltaflejringer i fast form – altså stensalt fra ældre dannelser). De påviser herunder, at flertallet af de forekomster af saltholdigt grundvand, som er fundet i Østdanmark ikke – som tidligere antaget – må vurderes som residualvand men må betragtes som værende mineralvand.

Ødums interesse for de grundvandskemiske forhold kom også til udtryk i en omfattende afhandling om de danske grundvandstyper og deres geologiske optræden, som han og Werner Christensen udsendte i 1936. Bogen indleder et afsnit om grundvandets opståen. I det næste kapitel gennemgås grundvandets kemi i almindelighed med hensyn til såvel grundvandets indhold af opløste stoffer som ændringer i grundvandets sammensætning. Hvad sidste punkt angår, påviser de tilstedeværelsen af sulfatfattigt grundvand, hvis ringe sulfatindhold skyldes en reduktionsproces. De påviser endvidere, at der i visse egne – specielt i Vest- og Midtsjælland – forekommer blødt vand med et højt indhold af natriumbikarbonat, hvis tilstedeværelse kun kan forklares som et resultat af en ionbytningsproces.

I de følgende kapitler er der opstillet en række grundvandstyper, som sammenholdes med deres geologiske optræden og geografiske udbredelse.

Denne afhandling blev hurtigt meget efterspurgt, og er vel nok den af

DGU's publikationer, der hurtigst blev udsolgt. Kundekredsen var i overvejende grad ingeniører, og det virker derfor barokt, at en lille gruppe ingeniører med for små sko fremkom med et nærmest hysterisk angreb på bogen. Igen var kritikken forårsaget af det forhold, at geologerne havde votet sig ind på et fagområde, som teknikerne mente at have eneret på, uden at det dog var kommet til udtryk i artikler eller afhandlinger. Man må nok erkende, at de to forfattere gav kritikerne nogle ufortjent gode kort på hånden, fordi man havde forsømt at foretage den fornødne kontrol af analyseresultaterne og endvidere havde undladt at læse korrektur på tabelafsnitene i fyldestgørende omfang. Der var derfor en betydelig fejlprocent, men dette forhold ændrer ikke den kendsgerning, at afhandlingen ydede et meget væsentligt bidrag til vor viden om de grundvandsgeologiske og grundvandskemiske forhold.

Uanset de nævnte stridigheder var Ødum særdeles respekteret som grundvandsforsker. Det kom til udtryk på mange måder, bl.a. markeredes det ved, at Akademiet for de tekniske videnskaber i 1961 bad ham om at fungere som formand for et udvalg, sammensat af de største eksperter inden for vandteknik og hygiejne, med den opgave at udstikke retningslinierne for den fremtidige politik inden for vandområdet.

*Ole Berthelsen*

## Hilmar Ødum som direktør

Den 1. november 1937 blev Ødum udnævnt til direktør for DGU. Han varetog denne funktion indtil 1. juli 1965, d.v.s. i næsten 28 år.

I løbet af denne periode gennemgik instituttet en rig udvikling. Nye opgaver blev taget op, nye arbejdsområder blev inddraget, og staben af medarbejdere voksede støt, omend trægt i forhold til aktiviteternes omfang. Under disse forhold fik Ødum rig lejlighed til at udnytte sit organisations-talent. De nye ting voksede for ham, de gamle opgaver blev holdt i live, hvis de fortsat havde en mission. Det kunne stundom knibe for personalet at følge med i det undertiden hæsblesende tempo, men Ødums ildhu og begejstring smittede i reglen af på omgivelserne og bevirkede, at man løftede i flok. De ministerielle myndigheder delte ikke altid personalets tilslutning til Ødums aktionslyst. Hans idéer og planer blev normalt behandlet nøgternt og langsomt af myndighederne ud fra rent økonomiske og personalemæssige synspunkter. Denne holdning hos ministeriets folk havde Ødum svært ved at acceptere, og der blev i årenes løb udkæmpet mange småkrige mellem DGU's direktør og det høje ministerium; mange af disse kampe tabte Ødum i første omgang, men han vendte stædigt tilbage til slagmarken og vandt ofte sejr i det lange løb.



I hele sin lange og travle virksomhed som direktør bevarede Ødum sin interesse for den enkelte medarbejders trivsel. Hans hjælpsomhed var enestående, hvad enten det gjaldt personlige problemer eller vanskeligheder i det daglige arbejde. Han fulgte de unge geologers udvikling med stor opmærksomhed og fungerede ofte som jordemoder, når de første videnskabelige afhandlinger skulle til verden.

Geologer og andre forskere har mulighed for at sikre sig et eftermæle i kraft af deres videnskabelige produktionsvirksomhed. Ødum har med sine talrige publikationer gjort brug af denne fremgangsmåde i et usædvanligt omfang. Han vil blive husket som geolog i en uoverskuelig årrække. Han vil ejheller blive glemt som menneske, så længe der lever folk, der har oplevet hans hjertevarme og medmenneskelighed.

*Ole Berthelsen*

### Hilmar Ødum som den alsidige geolog og naturforsker

I januar 1923 modtog den daværende handelsminister et brev fra to unge mennesker, som anmodede om intet mindre end en koncession på dybdeboringer efter salt og olie og om udnyttelse af de eventuelle fund i landsdelene øst for Storebælt. Den ene af de to unge var en ingeniør Valdemar Olsen, der da var ansat ved Danmarks Geologiske Undersøgelse (DGU). Den anden var en 23-årig ung stud.mag. ved navn Hilmar Ødum.

Denne usædvanlige anmodning, som naturligvis blev afslået, har sin særlige historie, hvor den omtalte student Ødum spillede hovedrollen. Han var nemlig ikke alene geologisk, men også meget botanisk interesseret og gik på plantejagt sammen med bl.a. teologen Knud Hee Andersen, som han senere skrev en meget benyttet populær bog sammen med. Den hedder "På opdagelse i naturen", er kommet i talrige oplag og sælges og bruges stadig meget. Knud Hee Andersen opdagede en forekomst af saltplanter i Rislev Mose ved Næstved, og sammen publicerede de i 1923 en afhandling i Botanisk Tidsskrift, Bind 38. Den usædvanlige forekomst blev af Ødum sat i forbindelse med tilstedeværelsen af saltholdigt grundvand, og han konkluderede, at saltholdigheden kunne skyldes at vand fra dybtliggende saltholdige aflejringer trængte op til jordoverfladen gennem spalter i de overliggende lag. Sådanne forekomster var kendt fra flere steder i Nordtyskland og kunne sættes i direkte forbindelse med perm-saltets tilstedeværelse i undergrunden.

Den unge student Ødum blev magister i geologi samme år som disse begivenheder fandt sted. Han var allerede i 1918 blevet sommerassistent ved DGU, og fra 1920 honorarlønnet assistent. I 1926 blev han leder af borearkivet og tog dermed fat på sit hovedarbejdsområde på DGU. Selv tidligere var Ødum begyndt at bearbejde data fra vandforsyningsboringer



over hele landet, og som en naturlig fortsættelse af fundet i Rislev Mose kom han ind på studiet af det saltholdige grundvand i Danmark og dets oprindelse. Sammen med en kemiker ved DGU, ingeniør Johs. Andersen udgav Ødum i 1930 en større afhandling baseret på disse studier. Den hedder "Om forekomsten af saltførende aflejringer i Danmarks undergrund", og heri påvises, at en lang række danske forekomster af salt grundvand må forklares som hidrørende fra saltaflejringer i den prækvartære undergrund.

Der var herved leveret et indirekte bevis for sådanne aflejringers tilstedeværelse i Danmark – en ikke helt ringe bedrift af den unge geolog Ødum. Tilbage stod rigtigt nok det vanskelige punkt: at påvise saltaflejringernes tilstedeværelse direkte og at bedømme deres geologiske alder. Disse opgaver kunne kun løses ved geofysiske undersøgelser og efterfølgende dybdeboringer. Det blev DGU's daværende direktør, Victor Madsen, der inspireret udefra – vistnok bl.a. af tyskeren Wolff's foredrag ved det internationale geologmøde i Danmark 1928 – fik sat disse ting i gang herhjemme.

Udover saltvandsstudierne, som jo havde givet indirekte oplysninger om forhold i undergrunden, bidrog Ødum også med direkte iagttagelser over prækvartæret.

I sin disputats "Studier over daniet i Jylland og på Fyn" giver Ødum i et afsnit med overskriften "Tektonik" et samlet billede af hans daværende opfattelse af de tektoniske forhold i Jyllands undergrund. For Fyns vedkommende havde det ny tilkomne materiale ikke ændret væsentligt i det billede, som J. P. J. Ravens kort fra 1922 havde vist. Ødum anførte vedrørende Fyn, at "kalkundergrunden synes at ligge ret ensartet i det østlige Fyn-Langeland, overlejret af selandium, og forstyrrelser er ikke påvist, hverken direkte eller indirekte".

Med hensyn til Jyllands undergrund havde Ødum under kortlægningen af lagene på et stort antal danienlokaliteter fået et mere detaljeret billede frem. På tavle V i det nævnte arbejde er gengivet et undergrundskort over det nordlige Jylland, og der er her anbragt en hel del forkastninger og flere opagende områder, f.eks. er Mønsted, Sevel og Vejrum områderne, angivet som veritable horste, begrænsede af rette linier. Det samme gælder Suldrup og Tostrup områderne. "I adskillige tilfælde", skriver Ødum, "har det vist sig, at grænsen mellem forskellige formationer danner et spring, eller det er i en hel del tilfælde lykkedes at påvise forkastninger eller forstyrrelser af anden art i profilerne". Videre skriver han, at det viser sig, at "visse områder lader sig karakterisere som hævningsfelter, adskilt ved mere eller mindre skarpt markerede sænkingsfelter." Ødum betragtede dengang, vistnok som mange andre danske geologer, det sydsandinaviske og nordtyske aflejringsbassin som et geosynklinalområde. Ødum konkluderer i sin disputats, at "de tektoniske forstyrrelser må være betinget af hele områdets geosynklinalkarakter",

og han stiller hovedlinierne i den danske undergrundstektonik i forhold til omgivelserne, specielt brudzonerne i Skåne. I Nordjylland mente han at kunne se det norske massivs indflydelse på forkastningernes forløb. Han skriver: "Nordjylland ligger så at sige klemmt inde mellem de to massiver, og når der ved jordskorpebevægelserne opstår tangentielle tryk eller spændinger, må forløbet af de opståede brud indiceres af disse to. Med andre ord, vi må i den nordjyske undergrunds mosaik se resultatet af en interferens mellem et nord-sydligt (eller nordnordvest-sydsydøstligt) og et omtrent øst-vestligt brudsystem".

Ødums opfattelse af de tektoniske forhold i Danmarks undergrund i 30'erne fremgår iøvrigt klart af hans foredrag i Dansk Geologisk Forening (DGF) d. 11. marts 1935: "Træk af den prækvartære undergrunds geologi på Sjælland m.v.", som er trykt i sin helhed i Meddelelser fra DGF. Ødum påpeger her, at der "ingen væsensforskel er mellem den såkaldte "Randzone" i Skåne-Bornholm, og det hele Danmarks Undergrund", og han betragter det som sandsynligt, at Danmarks dybere undergrund er opdelt i blokke ligesom tyskeren Becksmann postulerede udfra en betragtning af de magnetiske anomalier i det sydskandinavisk-nordtyske sedimentationsbassin.

Ødum står, som nævnt, ikke ene blandt de danske geologer med den opfattelse. Bl.a. arbejdede Alfred Rosenkrantz i det samme tidsrum i 30'erne udfra lignende synspunkter, der var inspireret fra tysk side, hvor begrebet kippe-blokke ("Kippschollen") var på mode.

Der er her dvælet særligt ved Ødums arbejder på dette felt, fordi de belyser hans store engagement i alt hvad der berører undergrundens geologi. I disputatsen er de regionale geologiske og tektoniske resultater af hans stratigrafiske undersøgelser af danien lagene i virkeligheden blevet hovedsagen, hvilket dengang var helt nye toner i dansk geologi i forbindelse med palæontologi og stratigrafi. Ødums afhandling betegner noget principielt nyt.

Efterhånden som opfattelsen af tektonikken i Danmarks undergrund blev bedre kendt gennem de dansk-amerikanske olieeftersøgningsboringer, støttet af omfattende gravimetrisk og seismisk undersøgelser, fik man naturligvis et langt dybere kendskab til den mere komplicerede opbygning og tektonik, som der er tale om. Således var opdagelsen af salt diapirerne og stensaltets store indflydelse på tektonikken i de overliggende lag en særlig markant nyhed i årene omkring og efter sidste verdenskrig. Herigennem blev det bekræftet, hvad Ødum i sin tidlige ungdom havde sandsynliggjort ad inddirekte vej. Det var naturligt, at han også i årene fremover omfattede saltundersøgelserne med særlig interesse. I 1960 udgav han en oversigt over saltefterforskningens historie i Danmark.

I det hele taget havde Ødum i det meste af sin tilværelse som geolog en nær tilknytning til udforskningen af Danmarks undergrund, begyndende med



at være DGU's tilsynsførende ved Harte boringerne 1934–35 alternerende med andre geologer, og senere overfor de amerikansk-danske olieeftersøgninger både i sin egenskab af direktør for DGU og i det statslige tilsyn med koncessionshaveren. Ødum arbejdede ikke selv videnskabeligt med materialet fra den dybere undergrund, men han omfattede de øvrige geologers arbejde dermed med stor interesse og protektionerede dem i nogen grad.

Ødums arbejdsområde var hele Danmarks geologi. Når vi ser bort fra undersøgelserne over danien lagene i Danmark, som han også selv betragtede som sit speciale, så var det ikke meget af *omfang*, men derimod så meget mere i betydning, han udrettede med hensyn til at forøge selve *kendskabet* til tertiæret i Danmark.

Der er den lille afhandling om "Marint Nedre Oligocæn i Danmark" fra 1936, hvor Ødum på grundlag af forekomsten af en lille brakiopod, *Terebratulina*, som han bestemte til *T. Nysti* Bosq., henførte Søvind merglen til nedre oligocæn, og der er afhandlingen om "En forekomst af marint pliocæn ved Tønder" fra 1934, hvor Ødum publicerede fundet af en ungtertiær fauna fra en boring ved Sød, som han anså for pliocæn. Begge disse aldersbestemmelser, som var velbegrundede for deres tid, er ganske vist senere blevet reviderede og fundet at være henholdsvis øvre eocæn og øvre miocæn, men det formindsker ikke Ødums fortjeneste med at have draget disse interessante fund frem, som udfyldte – og stadig udfylder – lakuner i vor viden om den tertiære udviklingshistorie af det danske område.

Det bør desuden i denne sammenhæng nævnes som et yderligere bevis på Ødums dygtighed og alsidighed som geolog, at han til kortbladsbeskrivelserne til Varde og Brande bladet (henholdsvis 1922 og 1939) leverede bidrag, funderet på bestemmelser og foreløbig bearbejdelse af et omfattende materiale af både mellem miocæne og øvre miocæne mollusker. Disse bestemmelser er upåklagelige selv efter en mere moderne betragtning. Især må man beundre Ødums behandling af et større materiale af aftryk og kærner af øvre miocæne mollusker, som han frempræparerede fra store konkretioner, som blev fundet i tilknytning til fundet af dele af et hvalskelet i Brande teglværks lergrav. Bestemmelsen af dette vanskelige materiale kræver forkendskab til et tilsvarende molluskmateriale af velbevarede skaller, og hans bestemmelser er gennemgående rigtige. Det kan ikke have været et hastværksarbejde, som her er udført – og det blev blot omtalt næsten en passant i kortbladsbeskrivelsen, udarbejdet af V. Milthers. Ødum har iøvrigt engang meddelt mig, at han i sin tid havde planer om at bearbejde molluskfaunaen i det øvre miocæne Gram ler, i almindelighed, og der ligger da også i DGU's samlinger en mængde bestemt molluskmateriale fra en lang række lokaliteter, som er etiketteret med Ødums karakteristiske håndskrift.

A propos hvaler! Ødum har også bidraget til hvalfangervirksomheden i

Gram leret ved Gram teglværk – en sport, der, som bekendt, er genoplivet i de senere år. I 1925 fandt man store dele af skelettet af en bardehval ved Gram, og det kom Ødum for øre. I hefte 83 af det gamle tidsskrift "Frem" skildrer Sophie Petersen i en populær artikel om "Vore mærkeligste jordarter" hvorledes den unge geolog – hans navn nævnes ikke – fandt på at slå en træramme omkring skeletresterne mens de lå i leret og derefter hælde gips ned i den, hvorefter hele den tons-tunge kasse blev transporteret med jernbane til København. Der var dengang smalsporede baner i Sønderjylland, og der gik endda sidespor til teglværket, så hvalen kunne transporteres direkte ad jernvej til København.

Ødum var også kvartærgeolog. Det har han sagt gentagne gange selv, og det havde han ret i. Der er foruden Ødums karteringsvirksomhed tale om en lang række afgrænsede undersøgelser, som spænder lige fra ledeblokke over interglaciale lag til postglaciale fund.

Under karteringsarbejderne i Sønderjylland bemærkede Ødum, at blokke af skånsk basalt havde en markant udbredelse vest for hovedstilstandslinien i sidste istid. Sammen med terrænstudier og forekomster af "jordfaldshuller" tog han disse iagttagelser til indtægt for den opfattelse, at et kortvarigt isfremstød var nået så langt vestpå som til en linie omtrent fra Lintrup over Hygum til Fole.

Studier af andre typer glacialblokke gennemførte Ødum selv i tiden efter sin pensionering fra DGU. Det er de ejendommelige blokke af flintkonglomerat, som findes i store dele af Jylland, og hvis alder regnes for ungtertiær og hvis primære forekomst er ukendt. Ødum udarbejdede om disse blokke en ret stor afhandling, der så dagens lys i 1968 i DGF's Meddelelser. Det er en af hans omhyggeligste og grundigste undersøgelser.

Arbejdet i borearkivet på DGU gav ofte nyt materiale i hænde til belysning af Danmarks kvartære historie. I 1929 startede Ødum i Meddelelser fra DGF en serie "Mindre meddelelser fra DGU's borearkiv", hvor sådanne nyheder blev publiceret. Der var tale om både fund vedrørende den prækvartære undergrund og de kvartære lag i en tvangfri blanding. For kvartærets vedkommende foreligger der i disse meddelelser en mængde oplysninger om såvel interglaciale som postglaciale fund. En mere omfattende afhandling helligede Ødum i 1933 marine interglaciale lag på Sjælland, Hven, Møn og Rygen. Der var deri tale om en betydelig udvidelse af vort kendskab til såvel Skærumhede seriens som Eem seriens udbredelse og faunistiske forhold.

I forbindelse med Ødums kvartære studier må også nævnes hans publicering af et elsdryfund fra Tåderup på Falster fra 1920 og en afhandling om de såkaldte fårestiers natur 1922, begge blevet til i hans studietid. Fra hans senere år foreligger et arbejde sammen med Sigurd Hansen om



ledeblokke som bundsediment (1960), og selv tog han sig alene af kvartæret ved Hobro i et arbejde fra 1969.

Som de fleste af DGU's geologer karterede Ødum i perioder af sommer-tiden, først i Sønderjylland, senere som leder på kortbladet Sorø. Selvom den store administrative arbejdsbyrde han havde som direktør for DGU i betydelig grad forhindrede ham i at slå sig ned for længere tid i et område af sit kortblad, glædede han sig altid til sine karteringsperioder og den lejlighed det gav ham til at forlade skrivebordet og arbejde i naturen.

Ødum udfoldede under dette sit feltarbejde helt sit talent som alsidig naturiagttagere. Ikke alene de geologiske terrænforhold, men i høj grad også de floristiske forhold blev tilgodeset. Ødum var en dygtig botaniker, og det lod til, at han næsten interesserede sig lige så meget for dette fag som for geologi. Hver dag, når han indfandt sig i kvarteret efter en dag i felten, havde han en buket planter med til nærmere studium, og han talte ofte begejstret om sine botaniske iagttagelser. Ødum kombinerede fagene geologi og botanik på sine vandringer i terrænet med karteringsboret i hånden, og han bedømte ofte lagenes udstrækning og type med støtte i floraen på jord-overfladen.

En anden side af Ødums virksomhed bør også fremhæves, det er hans virksomhed som naturfredere. I mange år gennem sin direktørtid varetog han med iver geologernes interesse i naturfredningsspørgsmål, og i 1965, da han netop var blevet pensioneret fra sin direktørpost, udnævntes han til formand for naturfredningsrådet, i hvis arbejde han derefter koncentrerede sig i 4 år. Ødum var med i naturfredningsarbejdet lige siden 1928 som medlem af det under Danmarks Naturfredningsforening nedsatte naturvidenskabelige udvalg. Han omfattede naturfredningsarbejdet med stor kærlighed og inspiration. I hans senere formandstid for Naturfredningsrådet arbejdede han bl.a. med ral- og grusgravproblematikken i fredningsarbejdet, ligesom også med sommerhus- og vandforsyningsområdet i relation til dette arbejde, for blot at fremhæve nogle af de mest geologisk relevante opgaver, rådet deltog i under disse år.

Hvis man skulle gå i detaljer med alle de geologiske områder, som Ødum arbejdede med eller blot havde berøring til i sin lange virksomhed som geolog, ville det blive en tyk bog. Listen over hans publikationer giver en bleg afskygning af det, men han havde med langt flere geologisk relevante forhold at gøre, end hvad denne liste antyder. Når man så dertil føjer, at han også interesserede sig for og arbejdede lidt med arkæologi og iøvrigt ofrede en meget stor del af sine kræfter, især i de unge år, på spejderarbejde, kristeligt oplysnings- og organisationsarbejde og meget andet, ofte som hovedkraft i store organisationer, så har man ikke svært ved at acceptere billedet af Ødum som et overordentlig energisk, uhyre levende, altid stærkt enga-

geret menneske med omfattende interesser og stor åndelig spændvidde. Bag alt dette stod mennesket Ødum, ret lille af vækst, ofte lidende under sit helbreds svagheder, men stor som menneske, en kammerat for sine medarbejdere og hjælpsomheden selv.

Ingen, der beskæftiger sig med dansk geologi, kan et øjeblik være i tvivl om, at han stedse vil indtage en fremskudt plads i dens historie.

Leif Banke Rasmussen

## Fortegnelse over Hilmar Ødums publikationer

Udarbejdet af Erik Nygaard

- 1920: Et Elddyrfund fra Taaderup paa Falster. – Danm. geol. Unders. IV. række, 1(11), 16 p.
- 1921: [Demonstration af profil ved Hvalløse, blegeskridt m. m.] – Meddr dansk geol. Foren. 6, 4 (Møder og Ekskursioner).
- 1922: [Bestemmelse af Tertiærfossiler. Endrupholm. Kortbladet Varde.] – In: Danm. geol. Unders. I. række, 14, pp. 11–14.
- Om "Faarestiernes" Natur. (English summary). – Danm. geol. Unders. IV. række, 1(15), 29 p.
- Om "Faarestiernes" Natur. (English summary). – Meddr dansk geol. Foren. 6(7), pp. 1–29.
- *Inoceramus tegulatus* v. Hag. i det danske Skrivekridt. (English summary). – Meddr dansk geol. Foren. 6(10), pp. 1–13.
- 1923: Oversættelse af tre foredrag af A. Wegener: I. Kontinenternes Forskydning. II. Jordskorpens Natur. III. Fortidens Klimater. – Udg. Danm. Naturvidensk. Samfund. 26 p.
- Jessen, A. and Ødum, H.: Senon og Danien ved Voxlev. (Résumé en français). – Danm. geol. Unders. II. række, 39, 71 p.
- Andersen, K. Hee and Ødum, H.: En Salt-Flora i Slagsmose ved Rislev. – Bot. Tidsskr. 38(1), pp. 57–68.
- 1924: Om de saakaldte "Faarestiers" Natur. – Naturens Verden, Aarg. 8, 1924, pp. 73–81.
- Oversigt over Kjær Herreds Geologi. – In: Kjær Herred. Historisk-Topografisk Beskrivelse med Biografier. Historisk Topografisk Forlag, Aarhus, pp. 1–16.
- Oversigt over Randersegnens geologiske Historie. – In: Brunøe, Aa.: Randers. Historisk-Topografisk Beskrivelse med Biografier. Historisk-Topografisk Forlag, Aarhus, pp. 5–15.
- Oversigt over Aalborg-Egnens Geologi. – In: Aalborg. Historisk-Topografisk Beskrivelse med Biografier. Historisk-Topografisk Forlag, Aarhus, pp. 1–16. 2. udg. 1926.
- 1925: Th. Bjerring Pedersen. 26. Januar 1898 – 2. Juli 1925. – Meddr dansk geol. Foren. 6, pp. 42–43.
- De jyske Hedesletters Natur. – Naturens Verden. Årg. 9, 1925, pp. 193–219.
- Lidt om Atlanterhavets Styrke. – Naturens Verden, Årg. 9, 1925, pp. 29–35.

- *Parentucellia viscosa* fundet i Danmark. – Bot. Tidsskr. 38, pp. 441–442.
- Træk af Færøernes Morfologi. – Det sjuttende Skand. Naturforskaremötet i Göteborg, den 9–14 juli 1923. Förhandlingar och Föredrag, pp. 198–203.
- 1926: Studier over Daniet i Jylland og paa Fyn. (English summary). – Danm. geol. Unders. II. række, 45, 306 p.
- Studier over Daniet i Jylland og paa Fyn. Disp. – C. A. Reitzel, København. 280 p.
- Ravn, J. P. J., Nielsen, K. Brünnich, Grönwall, K. A. and Ødum, H.: Diskussion om Daniets geologiske Stilling. (English summary). – Meddr dansk geol. Foren. 7, pp. 55–82.
- 1927: Bemærkninger om Vestgrænsen for den sidste Nedisning i Nordslesvig. – Meddr dansk geol. Foren. 7, pp. 170–171.
- Bemerkungen zu dem Aufsätze von E. Voigt "Gehört das Danien zum Tertiär?" – Z. Geschiebeforsch. 3(1–2), pp. 62–63.
- Geologiske Iagttagelser i Landet Øst for Igaliko Fjord. – Meddr Grønland, 74(4), pp. 43–54.
- Selvbibliografi. – Københavns Univ. Festskr. Nov. 1927, pp. 155–156.
- Den sjette Dag. – Dansk Udsyn, 1927(4), 15 p.
- 1928: Cretaceous. – *In*: Summary of the geology of Denmark. Danm. geol. Unders. V. række 4, pp. 34–65.
- Kreide. – *In*: Übersicht über die Geologie von Dänemark. Danm. geol. Unders. V. række, 4, pp. 47–70.
- Kridt. – *In*: Oversigt over Danmarks Geologi. Danm. geol. Unders. V. række 4, pp. 42–63.
- Système crétacé. – *In*: Aperçu de la géologie du Danemark. Danm. geol. Unders. V. række 4, pp. 47–71.
- Vort sydligste Danium. – Meddr dansk geol. Foren. 7, pp. 201–214.
- Andersen, K. Hee and Ødum, H.: Paa Opdagelse i Naturen. 1. Udg. – De Unges Forlag, København. 245 p. 2. udg. 1932. 3. udg. 1942. 4. udg. 1947. 5. udg. 1959. 6. rev. udg. 1965.
- 1929: Diskussionsindlæg til Foredrag om Varvighed og Afsmeltning af S. A. Andersen og Sigurd Hansen. – Meddr dansk geol. Foren. 7, pp. 368–369.
- Frejlev Bøget. – Dansk Naturfredn., Danm. Naturfredn.foren. Årsskr. 1928–29, p. 151.
- Mindre Meddelelser fra Danmarks geologiske Undersøgelses Borearkiv. 1. Paleocæn ved Nyborg, 2. Nebbegaard, 3. Als Odde. – Meddr dansk geol. Foren. 7, pp. 343–350.
- 1930: Aperçu des problèmes actuels du Danien. – C. R. Réunion Géol. Int. à Copenhague 1928. Udg. Danm. geol. Unders., pp. 177–182.
- Diskussionsindlæg i Anledning af Chr. Poulsen's Foredrag om subcambriske Istidsaflejringer og cambro-ordoviciske Lag i Østgrønland. – Meddr dansk geol. Foren. 7, pp. 478–479.
- Klit og Krat i Vestslesvig. – Sønderjydske Maanedsskr. 7, pp. 17–24.
- Klit og Krat i Vestslesvig (Tønder Amt og Haderslev Vesteramt). – Dansk Naturfredn., Danm. Naturfredn.foren. Aarsskr. 1929–1930, pp. 73–79.
- Andersen, Johs. and Ødum, H.: Om Forekomsten af saltførende Aflejringer i Danmarks Undergrund. (Zusammenfass. in Deutsch). – Danm. geol. Unders. II. række, 52, 111 p.
- Rosenkrantz, A. and Ødum, H.: [Bestemmelse af fossiler fra paleocæn mer-



- gel, Hanerup.] – *In*: Hansen, Sigurd: Om Forekomster af Glacialflager af paleocæn Mergel paa Sjælland. – Meddr dansk geol. Foren. 7, pp. 405–406.
- 1931: The bearing of natural science on the Christian conception of life. – World's Conf. Y. M. C. A. Toronto, 1931, Seminar Paper Nr. 2. 41 p.
- Danmarks Undergrund. – Naturens Verden, Årg. 15, 1931, pp. 148–161.
- Moderne Naturvidenskab og kristelig Livsanskuelse. – C. A. Reitzels Forlag, København. 76 p.
- 1932: Friluftorganisationernes Lejrliv. – Danm. Naturfredn.foren. Årsskr. 1931–32, pp. 109–114.
- Jordan, du gaar paa. – *In*: Spejderliv. Ny dansk Spejderbog. Udg. KFUM Spejderne i Danmark. De Unges Forlag, Aarhus, pp. 226–237.
- Mindre Meddelelser fra Danmarks geologiske Undersøgelses Borearkiv. Nr. 4. Sæby, Nr. 5. Østerled Gaard, Dronninglund. Nr. 6. Vildmosegaard, Lille Vildmose. Nr. 7. Gisseløre. Nr. 8. Maarum Skovridergaard. Nr. 9. En Sænkning i Kalkundergrunden ved Taastrup. – Meddr dansk geol. Foren. 8, pp. 185–195.
- Oversigt over Østsjællands Geologi. – Årb. Hist. Samf. Præstø Amt, 21. Aarg., pp. 1–10. Næstved.
- Set fra Cleveland. Optrykte artikler fra KFUM månedsbl. foråret 1932. – Missionstrykkeriet, København. 47 p.
- Ønskekivsten. – Ledetråd v. folkelig Universitetsundervisn. Nr. 2, 4 p. Udg. Folkeuniversitetsudvalget.
- 1933: De geologiske Forhold omkring Flyndersø. – Dansk Naturfredn. Danm. Naturfredn.foren. Årsskr. 1932–33, pp. 79–83.
- Grundvand, Drikkevand og Mineralvand. – *In*: Faber, A. and Norgaard, A.: Håndbog i Diætetik, pp. 97–104.
- 1933: Marint Interglacial paa Sjælland, Hven, Møn og Rügen. (Zusammenfass. in Deutsch). – Danm. geol. Unders. IV. række, 2(10), 35 p.
- Mindre Meddelelser fra Danmarks geologiske Undersøgelses Borearkiv. Nr. 10. Tinglev. Nr. 11. Den prækvartære Undergrund ved Sønderborg. Nr. 12. Holbæk, Jylland. – Meddr dansk geol. Foren. 8, pp. 261–266.
- 1934: Grundvandsforholdene i Tønder-Marsken. – Danm. geol. Unders. IV. række, 2(12), 17 p.
- En Forekomst af marint Pliocæn ved Tønder. (Zusammenfass. in Deutsch). – Meddr dansk geol. Foren. 8, pp. 359–370.
- Videnskabelig eller religiøs Livsanskuelse. – Tidens Spørgsmaal, nr. 7, De Unges Forlag, Aarhus. 37 p.
- 1935: De geologiske og geofysiske Forudsætninger for Tysklands Oljeproduktion. – Naturens Verden 19, pp. 385–401.
- Grundvand og Vandindvinding. En vejledende Oversigt. – Danm. geol. Unders. III. række, 25, 36 p.
- Hvorledes er Danmarks Undergrund bygget? – Naturens Verden 19, pp. 289–304.
- Træk af den prækvartære Undergrunds Geologi på Sjælland m. v. Foredragsref. – Meddr dansk geol. Foren. 8, pp. 516–524.
- Madsen, V., Ødum, H. and Gry, H.: Boringerne ved Langbrogaard ved Sønderborg. – Danm. geol. Unders. II. række, 55, 47 p.
- 1936: *In*: 18. Oktober 1936. Ekskursion til Næstved Havne- og Kanal anlæg. – Meddr dansk geol. Foren. 9, pp. 108–109.
- Marint Nedre Oligocæn i Danmark. – Meddr dansk geol. Foren. 9, pp. 88–90.



- Naturen kalder. – *In: Den danske Ungdoms Bog*. 1936, pp. 9–38.
- Ødum, H. and Christensen, W.: Danske Grundvandstyper og deres geologiske Optræden. – *Danm. geol. Unders. III. række*, 26, 156 p.
- Ødum, H. and Udsen, M.: Nogle Bemærkninger om »Danske Grundvandstyper«. (Diskussion). – *Ingeniøren* 45. Årg. (62), VI, pp. 207–209, (65) VI, pp. 212–213.
- 1937: Jordlag og Landskabsformer. – *In: Min Hjemstavns*, Nr. 10. Nordslesvig, pp. 3–18.
- Der Mörtelkalkstein vom Danewerk. – *Offa. Ber. u. Mitt. Mus. Vorgeschichtl. Altertümer*, Kiel, 2, pp. 165–167.
- To boreriger paa Herlufsholm. – *In: Herlufsholms Skoles Årsskr.* 1937, pp. 1–19. Næstved.
- 1938: Beschreibung des Profils. (*In: Senglaciale aflejringer, Næstved.*) – *In: Andersen, F. Søgaard: Spätglaziale Chironomiden.* – *Meddr dansk geol. Foren.* 9, pp. 320–321.
- Niels Steensens geologiske Syn og videnskabelige Tankesæt. Ved 300-Aaret for hans Fødsel. – *Naturens Verden* 22. årg., pp. 49–60.
- Et Træk af Danevirkes Historie. – *Naturens Verden*, 22. Årg. 1938, pp. 193–201.
- Et Træk af Danevirkes Bygningshistorie. – *Sønderjydske Månedsskr.* 1938 (10), 14. Årg., pp. 167–169.
- Det videnskabelige Grundlag for Borerigerne efter Olie, Salt og Naturgas i Danmark. – *Det 2. Nord. Ingeniørmøte, Oslo.* 13.–15. Juni 1938, Seksjon I. Bergverkteknikk og Metallurgi, pp. 30–35.
- 1939: [Bestemmelse af Tertiærfossiler (Mellem-Øvre Miocæn) Kortbladet Brande.] – *In: Danm. geol. Unders. I. række*, 18, pp. 22, 24, 27.
- 3. Dänemark. – *Geol. Jahresber.* 1B, pp. 49–51.
- Hvad er et Menneske? – *In: Andersen, K. Hee and Hansen, Aa. Falk: "Ungdomsår"*, 1. Udg., pp. 42–50. 5. udg. 1959.
- 1940: II. Vestslesvig. 2. Radioudsendelse af to om: Als og Vestslesvig. (som Interviewer). – *Sønderjydske Maanedsskr.* 16. Aarg. (17), 1940, pp. 317–340.
- 1941: Danmark bliver til. – *In: Dansk i Tusind Aar*, pp. 15–28. Haases Forlag.
- De geologiske Forhold i Egnen omkring Flyndersø. – *In: En dansk Naturpark, Hjerl Hede og den gamle Landsby*, Red. F. Hjerl-Hansen, pp. 26–29. Udg. Hjerl-Fonden. København.
- 1942: Dänemark. – *Geol. Jahresber.* 4B, pp. 35–39.
- Prækvartær-Profilet Nyborg-Sprogø-Korsør. – *Meddr dansk geol. Foren.* 10, pp. 206–211.
- 1943: Geologi. – *In: Dahl, Svend: Danmarks Kultur ved Aar 1940*, 1, pp. 21–66.
- Geologi og Praksis. – *Ingeniøren* 52. Aarg. Nr. 41 I. & S. nr. 6, pp. 83–84.
- Nogle fossile danske Brændstoffer og deres Fremskaffelse. – *Meddr Akad. tekn. Vidensk.* 1943, pp. 73–84.
- Nogle fossile danske Brændstoffer og deres Fremskaffelse. I, II. – *Naturens Verden* 27. Årg. 1943, pp. 122–137, 175–186.
- *In: Nogle indlæg vedrørende Kritiske Bemærkninger til Hilmar Ødum og Werner Christensen: "Danske Grundvandstyper og deres geologiske Optræden"*. – *Kemisk Maanedssbl.* 24. Aarg. (2), 28–30, 31.
- 1944: Danmarks geologiske Undersøgelses Borearkiv, dets Organisation, Arbejds måde og en Del af dets Resultater gennem 18 år. – *Geol. För. Stockh. Förh.* 66, pp. 319–331.

- 1945: Contributions to the literature on erratic boulders. – Meddr dansk geol. Foren. 10, pp. 499–506.
- 1946: [Skrabninger i Kattegat.] Diskussionsindlæg. – Meddr dansk geol. Foren. 11, p. 147.
- 1949: [Saltholdigt Grundvand paa Fyn.] Diskussionsindlæg til Th. Sorgenfrei: Nyere Undersøgelser over Fyns Undergrund. – Meddr dansk geol. Foren. 11, p. 493.
- 1950: Ødum, H., Larsen, K. B. and Rosendahl, G. P.: De i sommeren 1949 stedfundne undersøgelser vedrørende muligheder for at tilvejebringe en tilfredsstillende vandforsyning. – Grønlandskomm. Betænkn. 1, pp. 49–51.
- 1951: En fælles dansk-svensk undersøgelse af Østersøområdet sen- og postglaciale sedimente. – Meddr dansk geol. Foren. 12, pp. 175–177.
- Oversigt over D.G.U.s virksomhed i de senere år. – Meddr dansk geol. Foren. 12, pp. 137–140.
- 1953: De geologiska resultatena från borrhöjningarna vid Höllviken. Del 5: The macrofossils of the upper Cretaceous. – Sver. geol. Unders. Ser. C 527, 37 p.
- Ødum, H. and Berthelsen, O.: Borearkivet ved Danmarks Geologiske Undersøgelse. The Well Record Department of the Geological Survey of Denmark. – Danm. geol. Unders. III. række, 30, 28 p.
- 1954: En miniatur-skulptur fra Sigtuna. – Sigtuna Dei, Sigtuna Fornhems Årsb. 1951–52, pp. 30–39.
- 1955: Det uldhårede næsehorn fra Nordslesvig. – Meddr dansk geol. Foren. 12, pp. 653–654.
- Ødum, H. and Koch, Eske: The Mesozoic sediments of Qeqertarsuaq, Umanak District, West Greenland. – Meddr Grønland, 135(2), 14 p.
- 1956: Artikler. – Kulturhistorisk leksikon for nordisk middelalder.
- 1960: Saltefterforskningen i Danmark. – Danm. geol. Unders. III. række, 34, 43 p.
- Saltfloraen i Rislev Mose. – Bot. Tidsskr. 56(4), pp. 319–320.
- Hansen, Sigurd and Ødum, H.: Lerblokke som bundsediment i danske farvande. – Danm. geol. Unders. IV. række, 4(2), 24 p.
- 1961: Eftersøgning efter vand. – In: Mejerierne og mælkeproducenternes forsyning med vand. Mejeriteknisk bogforlag, pp. 29–32.
- Lovgivning om vandindvinding. – Ibid., pp. 60–62.
- Vandet i naturen. – Ibid., pp. 21–24.
- Vand og geologi. – Ibid., pp. 25–26.
- Vandtyper og geologi. – Ibid., pp. 78–84.
- 1962: 28. april 1961. Ekspedition til Søø-egnen. – Meddr dansk geol. Foren. 15, pp. 146–147.
- 1964: Valdemar Johan Heinrich Nordmann 23. februar 1872 – 31. januar 1962. – Meddr dansk geol. Foren. 15, pp. 374–387. (Incl. Bibliografi ved D.G.U.s bibliotek under medvirken af Ib Marcussen).
- 1965: Ler. – Kulturhist. leksikon f. nord. middelalder, spalte 515–517.
- Naturværn og hygiejne ved sommerhuse. – Danmarks Natur, 4, pp. 114–119.
- 1966: Et brud i kalkundergrunden ved Mariager Fjord. – Meddr dansk geol. Foren. 16, pp. 459–464.
- Professor Spärck og dansk naturfredning. – In: Professor R. Spärck in memoriam, pp. 25–29. Udg. Dansk Naturhist. Foren.
- 1967: Geologi og naturfredning. – Meddr dansk geol. Foren. 17, pp. 183–184.
- Grundvandets kemi. – Dansk Natur – Dansk Skole, Årsskr. 1966, pp. 31–40.

- 1968: Feuersteinkonglomerat in Jütland. Zusammenfassung. – Der Geschiebesammler, 3, pp. 1–5.
- Flintkonglomerater i Jylland. Tertiærformation og ledeblok. – Meddr dansk geol. Foren. 18, pp. 1–32.
  - Hvor lå Holstenernes fæstning ved Næstved? – *In*: Finsen, H. og Ødum, H.: Kamp om vadestederne. Herlufsholms årsskr. 1968, pp. 19–27.
  - Et middelalderligt fæstningsanlæg på Herlufsholm. – *Ibid.*, pp. 10–14.
- 1969: Ar i landskabet. – Vort landskab, Danm. Naturfredn.foren. Årsskr. 1969, pp. 68–71.
- Kvartæret omkring Hobro. – Danm. geol. Unders. IV. række, 4(10), 23 p.
  - Preface. *In*: Steno. Geological papers. Ed. by G. Scherz. – Acta Hist. Sci. Natural. et Medicin., 20, 9. Odense Univ. Press.
- 1971: Danium og Maastrichtium på Skanörhalvön. – Sver. geol. Unders. Ser. C, 659, 13 p.
- 1972: Gustav Scherz 17. februar 1895 – 29. marts 1971. – Dansk geol. Foren. Årsskr. 1971, pp. 128–131.
- 1976: (in print). Terrænet omkring Fyrkat. – *In*: Olsen, O., Rosendahl, E., and Schmidt H. W.: Fyrkat, en jysk vikingeborg.

# Publications issued 1975

## II. Række – II. Series

102. *J. C. Baartman and Ole Bruun Christensen*: Contribution to the interpretation of the Fennoscandian Border Zone. Dansk sammendrag: Bidrag til fortolkningen af Den fennoskandiske Randzone. 1975. 47 p. 4 pls.
103. *Erik Fjeldsø Christensen*: The Søby Flora: Fossil plants from the Middle Miocene delta deposits of the Søby-Fasterholt area, Central Jutland, Denmark. Part I. Dansk sammendrag: Søby Floraen: Fossile planter fra de mellem miocæne delta aflejringer i Søby-Fasterholt området, Midtjylland, Danmark. 1975, 41 p. 10 pls.
104. *Olaf Michelsen*: Lower Jurassic biostratigraphy and ostracods of the Danish Embayment. Dansk sammendrag: Nedre jura biostratigrafi og ostracoder i det Danske Sænkingsområde. 1975. 287 p. 42 pls.

## III. Række – III. Series

43. *F. B. Childs and P. E. C. Reed*: Geology of the Dan field and the Danish North Sea. Dansk sammendrag: De geologiske forhold i Dan-feltet og den danske del af Nordsøen. 1975. 24 p.

## Årbog – Yearbook

1974 Editors: *Leif Banke Rasmussen* og *Olaf Michelsen*. 1975. 139 p. 15 pls.

Contents: *Lars Madsen*: Approximate geothermal gradients in Denmark and the Danish North Sea sector, pp. 5–16. – *Finn Bertelsen*: Triassic palynology and stratigraphy of some Danish North Sea boreholes, pp. 17–32, pl. 1. – *Gunnar Larsen* and *Henrik Friis*: Triassic heavy-mineral associations in Denmark, pp. 33–47, pl. 2. – *Svend Th. Andersen*: The Eemian freshwater deposit at Egernsund, South Jylland, and the Eemian landscape development in Denmark, pp. 49–70, pls. 11–15. – *Jens Stockmarr*: Biostratigraphic studies in Late Weichselian sediments near Böllingsö, pp. 71–89, pls. 8–10. – *Bent Aaby*: Cykliske klimavariationer de sidste 7500 år påvist ved undersøgelser af højmoser og marine transgressionsfaser, pp. 91–104. – *Arne Dinesen*: The growth spiral in some planktonic foraminifera from the Eocene of Denmark, pp. 105–138, pls. 3–7. – Publications issued 1974, p. 139.

## Rapporter – Reports

10. *Ellen Louise Mertz*: Hjørring og omegns jordbundsforhold. En ingeniør-geologisk beskrivelse. (By-geologi nr. 7). 1975. 49 p. 2 pls.



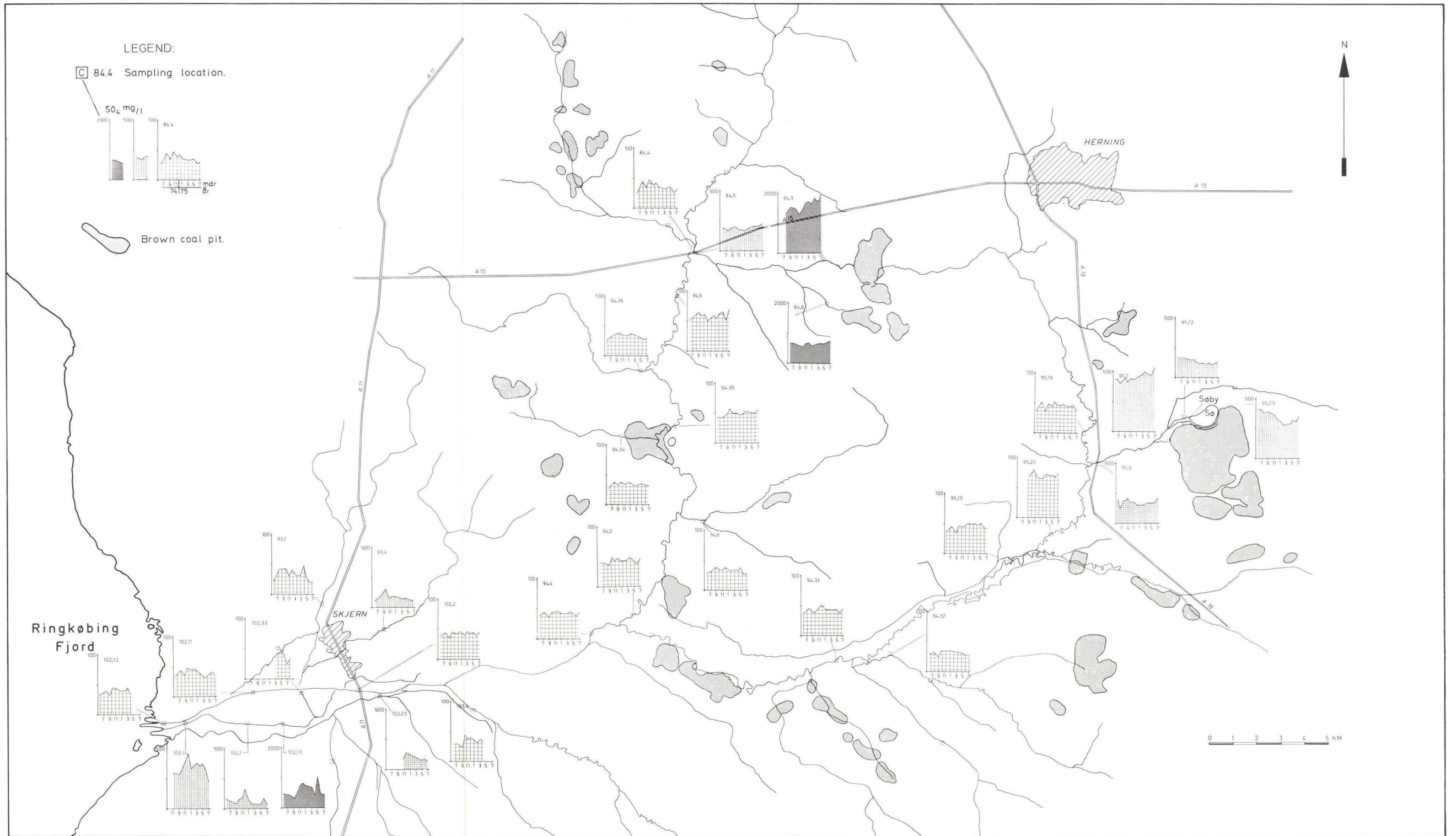


Plate 1. The sulphate content in the Skjernå river system.



Plate 2. The iron content in the Skjernå river system.



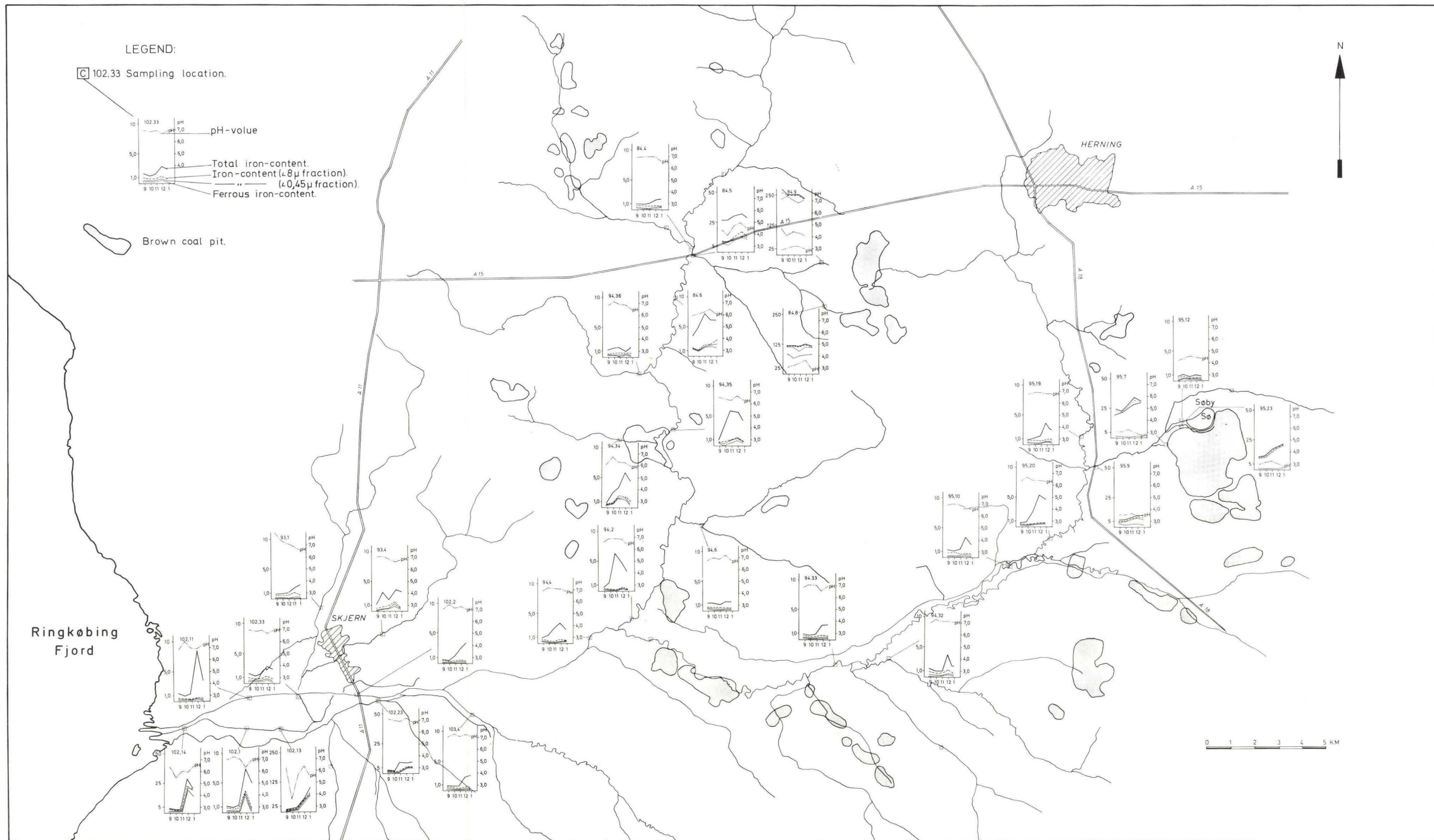


Plate 3. The iron content and pH in the Skjernå river system.