



ENVIRONMENTAL MONITORING SURVEY

REGION II

1997

SUMMARY REPORTS

SAMMENDRAGSRAPPORTER



Rapporttittel / Report title

**ENVIRONMENTAL MONITORING
SURVEY
REGION II
1997
SUMMARY REPORTS**

<i>Forfatter(e) / Author(s)</i> Mannvik, Hans-Petter Pearson, Tom Carrol, Michael Pettersen, Anita Lie Gabrielsen, Kjersti Palerud, Rune	<i>Akvaplan-niva rapport nr / report no:</i> 411.98.1224-1
	<i>Dato / Date:</i> 15.04.98
	<i>Antall sider / No. of pages</i> 26 + 26
	<i>Distribusjon / Distribution</i> Åpen / Open
<i>Oppdragsgiver / Client</i> Statoil Saga Petroleum Norsk Hydro Esso Norge Elf Petroleum	<i>Oppdragsg. ref. / Client ref.</i> Bryne, Karl H. Hassle, John R. Beck, Hans J. Skare, Ingvild Eikanger, Tom E.

<i>Emneord:</i> Region II Hydrokarboner Tungmetaller Makrofauna	<i>Key words:</i> Region II Hydrocarbons Heavy metals Macro fauna
---	---

Prosjektleder / Project manager

Kvalitetskontroll / Quality control

Mannvik, Hans-Petter

Cochrane, Sabine

Summary

The results obtained by chemical and biological analyses of the sediments from the ten regional and twelve reference stations in Region II, in addition to differences in the sediment textures, showed that Region II could be divided into two sub-regions; Region II-a consisting of the Balder, Frigg, Lille Frigg, North East Frigg, East Frigg PSA, East Frigg PSB, Frøy, Heimdal, Hermod, Odin and Sleipner West fields and Region II-b consisting of the Sleipner East and Varg fields.

The total hydrocarbon concentrations found in sediments at the fields in Region II ranged from 418 ± 76 mg/kg to concentrations well below 10 mg/kg. Most of the hydrocarbon measurements at the fields in Region II were carried out at stations located 250, 500, 1000 m from the petroleum installations. By comparing hydrocarbon levels at these distances, the fields could be placed subjectively into two groups, one comprising the Balder, Varg and Sleipner West field and the other group comprising the remaining fields. Balder and Varg had hydrocarbon concentrations up to 300-400 mg/kg dry sediment at at least one of the innermost stations. Sleipner West which was placed in the same group as Balder and Varg, had a maximum THC concentration just above 100 mg/kg dry sediment. As expected from the recent drilling and discharge history at Balder, poly- α -olefins contributed to the total hydrocarbon content at this field. At Sleipner West and Varg, mineral oil were seen in the sediment extracts from several stations, even though there has been no plan for discharges of cuttings polluted with mineral oil. The remaining fields in Region II, had hydrocarbon contents below 25 mg/kg at the innermost stations. As expected from the recent drilling and discharge history at the Frøy field, traces of poly- α -olefins were found in several of the sediment extracts. At East Frigg and Odin, degraded mineral oil was seen at some of the innermost stations. There has been no discharges at the Odin field since 1994, but parts of the installation was transported away before the survey in May 1997. This work might have stirred the sediment at the sea bed. Two of the sediment extracts from the innermost stations at Loke, showed a profile that could be related to previous petroleum activity.

The highest concentrations of barium (values above 2000 mg/kg) were found at two of the fields with the highest levels of hydrocarbons; Balder and Sleipner West. For the remaining fields in Region II, there does not seem to be a direct correlation between the distribution of barium and the "grouping" of fields based on the hydrocarbon results. For all the fields in Region II, the hydrocarbon and barium contents along the different field-axes were related to the main current direction in the area Three of the fields, Balder, Varg and Sleipner West, separated out with the highest amounts of hydrocarbons and barium in the main current direction (NW, NE and NE of the installations respectively). At the remaining fields, no such correlation between hydrocarbons and barium and main current direction was found.

Sediment from the Frøy, Balder and Sleipner East field were analysed for traces of synthetic drilling muds. Detectable amounts of Ultidril were found at some of the innermost stations at the Frøy field. The highest concentration found was 7 mg/kg. At the Balder field, the drilling mud Anco TecB has been discharged, and traces of this mud were found at most of the stations at the field. Values above 100 mg/kg were found at at least one of the stations around each well. At the Balder field the elevated hydrocarbon-levels expressed as THC, are directly correlated to input of Anco TecB to the sediment. In general, the concentrations of Anco TecB decreased rapidly with increasing distance from the drilling-site. Sediments from Loke and SLA were analysed for traces of the ester-based mud Petrofree. In general, low content of Petrofree were found at both fields. Most of the concentrations were just above the detection limit. The highest amounts of ester (13 mg/kg) were found at one of the stations close to the Loke template. The levels of ester around SLA are low compared to what might be expected from the recent drilling discharges. Sediment from Sleipner West was analysed with regard to traces of DFE-622 used in water based mud, but DFE-622 was not detected in any of the samples.

The fauna in Region II is, with a few exceptions, highly diverse and found to be in an undisturbed condition. The uni- and multivariate statistical analyses carried out on the biological data suggest some considerable variation amongst the ten regional and twelve reference stations. On the basis of low diversity, high dominance level, its isolation in the multivariate analyses and the presence of large populations of small polychaetes, Regional station 2 was considered to be somewhat enriched and was therefore placed in an intermediate position between faunal Group A and Group B (undisturbed to slightly disturbed). However, none of the measured environmental variables at this station differ from those at the other regional or reference stations and are therefore not related to field activities in the region. This suggests that other unidentified food sources are available at this site.

Although the other Regional and reference stations are characterised as belonging to faunal Group A (undisturbed) they are by no means uniform in their populations. The station depth, number of taxa and the total abundance as well as abundance in single taxa, at the reference stations at Sleipner East and Varg and Regional station 6 differ greatly from the other stations in the region. The number of taxa and individuals at the regional/reference stations varied from 67 (Sleipner East) to 158 (Reg. st 10 and Heimdal) and from 402 (Varg) to 2744 (Reg. st. 2), respectively. Also the sedimentary grain size differs considerably in the region with the lowest pelite (silt and clay) content found in the Sleipner East/Varg area (reference values 0.8 - 1.4 %) and the highest in the Hermod/Balder area (reference values 13.3 - 13.8 %). The multivariate analyses suggested that the Sleipner East/Varg area also was widely dissimilar in faunal composition and for this reason, the data from this area have not been generally included in the statistical comparisons of regional data with field data. To do so would minimise any differences attributable to field related vs regional effects. The other field reference and regional

stations have higher biological similarities, although the CCA analysis ordered them in relation to differences in levels of lead, zinc and fine sand.

Three fields, Odin, Frøy and Heimdal, have stations in the moderately disturbed faunal group (Group C). A further four fields, Lille Frigg, East Frigg, Balder and Sleipner East have stations in the slightly disturbed faunal group (Group B), whilst five fields, North East Frigg, Frigg, Hermod, Sleipner West and Varg, only have stations in the undisturbed faunal group (Group A). Out of the 182 stations sampled across the region as a whole, 155 (85 %) were in Group A, 23 (13 %) were in Group B, 4 (2 %) were in Group C and none were in the highly disturbed Group D. The Group C fauna was found at 100 - 250 m distance and the Group B fauna at 250 - 500 m distance from the respective installation centre. The distributions (distance from centre) of these faunal groups at the different fields are given under the respective results chapters.

Environmental Monitoring Survey Region II 1997

A report to Statoil, Saga Petroleum, Norsk Hydro, Esso and Elf Petroleum

Contract Agreement No. ANS025799

Project co-ordinator:

Hans-Petter Mannvik, Akvaplan-niva AS

Key participants:

Hans-Petter Mannvik, Akvaplan-niva AS

Tom Pearson, Akvaplan-niva AS

Michael Carrol, Akvaplan-niva AS

Anita Pettersen, Unilab Analyse AS

Kjersti Lie Gabrielsen, Unilab Analyse AS

Rune Palerud, Akvaplan-niva AS

Tromsø, 15. April 1997

Akvaplan-niva AS/Unilab Analyse AS
9005 Tromsø, Norway

Preface

The present document reports the results from the environmental monitoring survey of Rgeion II, 1997.

Akvaplan-niva AS was awarded the contract for the work by Statoil. Contract Agreement ANS025799 was signed by both parts on 28.05.97. The field work was performed from 22.05 to 05.06.97.

The contract was conducted in co-operation with the following consultancies:

Unilab Analyse AS, Tromsø, Norway
GeoGruppen AS, Tromsø, Norway
SEAS Ltd., Oban, Scotland
NIVA, Oslo, Norway.

Tromsø 15. April, 1997
Akvaplan-niva AS

Hans-Petter Mannvik
Project co-ordinator

Jos Kögeler
Ass. director

Acknowledgments

The following persons were involved in the project:

Field work

G. Bahr, Akvaplan-niva AS, A. Gunneriussen, Akvaplan-niva AS, I. Halvorsen, Unilab Analyse AS, T. Henriksen, Akvaplan-niva AS, F. Mikkola, Akvaplan-niva AS, H. Stenhaug, Unilab Analyse AS.

Sorting biological materiale

H. Gunneriussen, Akvaplan-niva AS, E. Halfredsson, Akvaplan-niva AS, R. Larsen, Akvaplan-niva AS, F. Lundenes, Akvaplan-niva AS, C. Løkke, Akvaplan-niva AS, F. Mikkola, Akvaplan-niva AS, L.H. Ofstad, Akvaplan-niva AS, J.H. Thorarinson, Akvaplan-niva AS, T. Velvin, Akvaplan-niva AS, T. Vollen, Akvaplan-niva AS.

Identification biological materiale

M. Carrol, Akvaplan-niva AS, S. Cochrane, Akvaplan-niva AS, A. Coates, SEAS Ltd., J. Duncan, SEAS Ltd., R. Evans, Akvaplan-niva AS, B. Gulliksen, Akvaplan-niva AS, H.-P. Mannvik, Akvaplan-niva AS, R. Palerud, Akvaplan-niva AS, A. Sikorski, Akvaplan-niva AS, R. Velvin, Akvaplan-niva AS, A. Warèn, Riksmuseet, Stockholm, O. Israelsson, Riksmuseet, Stockholm.

Organic chemical analysis

E.K. Enge, Unilab Analyse AS, H. Foshaug, Unilab Analyse AS, I. Halvorsen, Unilab Analyse AS, E. Jørgensen, Unilab Analyse AS, K. Lie Gabrielsen, Unilab Analyse AS, M. Lund, Unilab Analyse AS, A. Pettersen, Unilab Analyse AS, T. Sandanger, Unilab Analyse AS, H. Stenhaug, Unilab Analyse AS.

Metal analysis

A. Godal, NIVA.

Physical analysis

I. Bottolfsen, GeoGruppen AS, K.R. Fredriksen, GeoGruppen AS.

Computer analysis (biology)

L. Ringstad Olsen, Akvaplan-niva AS.

Computer analysis (chemistry)

I. Halvorsen, Unilab Analyse AS, A. Pettersen, Unilab Analyse AS, H. Stenhaug, Unilab Analyse AS.

Reporting physical sections

M. Carrol, Akvaplan-niva AS, H.-P. Mannvik, Akvaplan-niva AS.

Reporting chemical sections

A. Pettersen, Unilab Analyse AS, K. Lie Gabrielsen, Unilab Analyse AS.

Reporting biological sections

M. Carrol, Akvaplan-niva AS, H.-P. Mannvik, Akvaplan-niva AS, T. Pearson, Akvaplan-niva AS.

Appendix preparation (CD-ROM)

R. Palerud, Akvaplan-niva AS

We also like to thank the master and crew of the vessel “Geoboy”.

ENVIRONMENTAL MONITORING SURVEY

REGION II

1997

ENGLISH SUMMARY REPORT

English Summary

Table of contents

1. SUMMARY	2
2. INTRODUCTION	4
3. RESULTS, DISCUSSION AND CONCLUSIONS.....	8
3.1 Region II.....	8
3.2 Regional and reference stations.....	10
3.3 Varg	10
3.4 Sleipner East.....	11
3.5 Sleipner West	13
3.6 Hermod.....	14
3.7 Balder	15
3.8 Heimdal	16
3.9 Frøy	18
3.10 Frigg	20
3.11 East Frigg	21
3.12 Lille Frigg.....	22
3.13 North East Frigg	24
3.14 Odin.....	25

1. Summary

Statoil, Norsk Hydro, Esso, Elf Petroleum and Saga Petroleum commissioned Akvaplan-niva AS (Contract Agreement no. ANS025799) to carry out a regional environmental survey of the physical, chemical and biological conditions of the benthic sediment in Region II in the North Sea. The fields included in the survey were Varg, Sleipner East (including Loke, SLA and SLE), Sleipner West, Hermod, Balder, Heimdal, Frøy, Frigg, East Frigg, Lille Frigg, North East Frigg and Odin. The field work was carried out between 22.05 and 05.06 1997, during which samples from a total of 182 stations were collected.

The results obtained by chemical and biological analyses of the sediments from the ten regional and twelve reference stations in Region II, in addition to differences in the sediment textures, showed that Region II could be divided into two sub-regions; Region II-a consisting of the Balder, Frigg, Lille Frigg, North East Frigg, East Frigg PSA, East Frigg PSB, Frøy, Heimdal, Hermod, Odin and Sleipner West fields and Region II-b consisting of the Sleipner East and Varg fields.

The total hydrocarbon concentrations found in sediments at the fields in Region II ranged from 418 ± 76 mg/kg to concentrations well below 10 mg/kg. Most of the hydrocarbon measurements at the fields in Region II were carried out at stations located 250, 500, 1000 m from the petroleum installations. By comparing hydrocarbon levels at these distances, the fields could be placed subjectively into two groups, one comprising the Balder, Varg and Sleipner West field and the other group comprising the remaining fields. Balder and Varg had hydrocarbon concentrations up to 300-400 mg/kg dry sediment at at least one of the innermost stations. Sleipner West which was placed in the same group as Balder and Varg, had a maximum THC concentration just above 100 mg/kg dry sediment. As expected from the recent drilling and discharge history at Balder, poly- α -olefins contributed to the total hydrocarbon content at this field. At Sleipner West and Varg, mineral oil were seen in the sediment extracts from several stations, even though there has been no plan for discharges of cuttings polluted with mineral oil. The remaining fields in Region II, had hydrocarbon contents below 25 mg/kg at the innermost stations. As expected from the recent drilling and discharge history at the Frøy field, traces of poly- α -olefins were found in several of the sediment extracts. At East Frigg and Odin, degraded mineral oil was seen at some of the innermost stations. There has been no discharges at the Odin field since 1994, but parts of the installation was transported away before the survey in May 1997. This work might have stirred the sediment at the sea bed. Two of the sediment extracts from the innermost stations at Loke, showed a profile that could be related to previous petroleum activity.

The highest concentrations of barium (values above 2000 mg/kg) were found at two of the fields with the highest levels of hydrocarbons; Balder and Sleipner West. For the remaining fields in Region II, there does not seem to be a direct correlation between the distribution of barium and the "grouping" of fields based on the hydrocarbon results. For all the fields in Region II, the hydrocarbon and barium contents along the different field-axes were related to the main current direction in the area. Three of the fields, Balder, Varg and Sleipner West, separated out with the highest amounts of hydrocarbons and barium in the main current direction (NW, NE and NE of the installations respectively). At the remaining fields, no such correlation between hydrocarbons and barium and main current direction was found.

Sediment from the Frøy, Balder and Sleipner East field were analysed for traces of synthetic drilling muds. Detectable amounts of Ultidrill were found at some of the innermost stations at the Frøy field. The highest concentration found was 7 mg/kg. At the Balder field, the drilling mud Anco TecB has been discharged, and traces of this mud were found at most of the stations at the field. Values above 100 mg/kg were found at at least one of the stations around each well. At the Balder field, the elevated hydrocarbon-levels expressed as THC, are directly

correlated to input of Anco TecB to the sediment. In general, the concentrations of Anco TecB decreased rapidly with increasing distance from the drilling-site. Sediments from Loke and SLA were analysed for traces of the ester-based mud Petrofree. In general, low content of Petrofree were found at both fields. Most of the concentrations were just above the detection limit. The highest amounts of ester (13 mg/kg) were found at one of the stations close to the Loke template. The levels of ester around SLA are low compared to what might be expected from the recent drilling discharges. Sediment from Sleipner West was analysed with regard to traces of DFE-622 used in water based mud, but DFE-622 was not detected in any of the samples.

The fauna in Region II is, with a few exceptions, highly diverse and found to be in an undisturbed condition. The uni- and multivariate statistical analyses carried out on the biological data suggest some considerable variation amongst the ten regional and twelve reference stations. On the basis of low diversity, high dominance level, its isolation in the multivariate analyses and the presence of large populations of small polychaetes, Regional station 2 was considered to be somewhat enriched and was therefore placed in an intermediate position between faunal Group A and Group B (undisturbed to slightly disturbed). However, none of the measured environmental variables at this station differ from those at the other regional or reference stations and are therefore not related to field activities in the region. This suggests that other unidentified food sources are available at this site.

Although the other Regional and reference stations are characterised as belonging to faunal Group A (undisturbed) they are by no means uniform in their populations. The station depth, number of taxa and the total abundance as well as abundance in single taxa, at the reference stations at Sleipner East and Varg and Regional station 6 differ greatly from the other stations in the region. The number of taxa and individuals at the regional/reference stations varied from 67 (Sleipner East) to 158 (Reg. st 10 and Heimdal) and from 402 (Varg) to 2744 (Reg. st. 2), respectively. Also the sedimentary grain size differs considerably in the region with the lowest pelite (silt and clay) content found in the Sleipner East/Varg area (reference values 0.8 - 1.4 %) and the highest in the Hermod/Balder area (reference values 13.3 - 13.8 %). The multivariate analyses suggested that the Sleipner East/Varg area also was widely dissimilar in faunal composition and for this reason, the data from this area have not been generally included in the statistical comparisons of regional data with field data. To do so would minimise any differences attributable to field related vs regional effects. The other field reference and regional stations have higher biological similarities, although the CCA analysis ordered them in relation to differences in levels of lead, zinc and fine sand.

Three fields, Odin, Frøy and Heimdal, have stations in the moderately disturbed faunal group (Group C). A further four fields, Lille Frigg, East Frigg, Balder and Sleipner East have stations in the slightly disturbed faunal group (Group B), whilst five fields, North East Frigg, Frigg, Hermod, Sleipner West and Varg, only have stations in the undisturbed faunal group (Group A). Out of the 182 stations sampled across the region as a whole, 155 (85 %) were in Group A, 23 (13 %) were in Group B, 4 (2 %) were in Group C and none were in the highly disturbed Group D. The Group C fauna was found at 100 - 250 m distance and the Group B fauna at 250 - 500 m distance from the respective installation centre. The distributions (distance from centre) of these faunal groups at the different fields are given under the respective results chapters.

2. Introduction

Statoil, Norsk Hydro, Esso, Elf Petroleum and Saga Petroleum commissioned Akvaplan-niva AS (Contract Agreement no. ANS025799) to carry out a regional environmental survey of the physical, chemical and biological conditions of the benthic sediment in Region II in the North Sea. The fields included in the survey were Varg, Sleipner East (including Loke, SLA and SLE), Sleipner West, Hermod, Balder, Heimdal, Frøy, Frigg, East Frigg, Lille Frigg, North East Frigg and Odin. The field work was carried out between 22.05 and 05.06 1997, during which samples from a total of 182 stations were collected. In addition to the field stations (inclusive reference stations), ten regional stations were surveyed. The location of the fields and the regional stations in Region II in 1997 is shown in Figure 1.

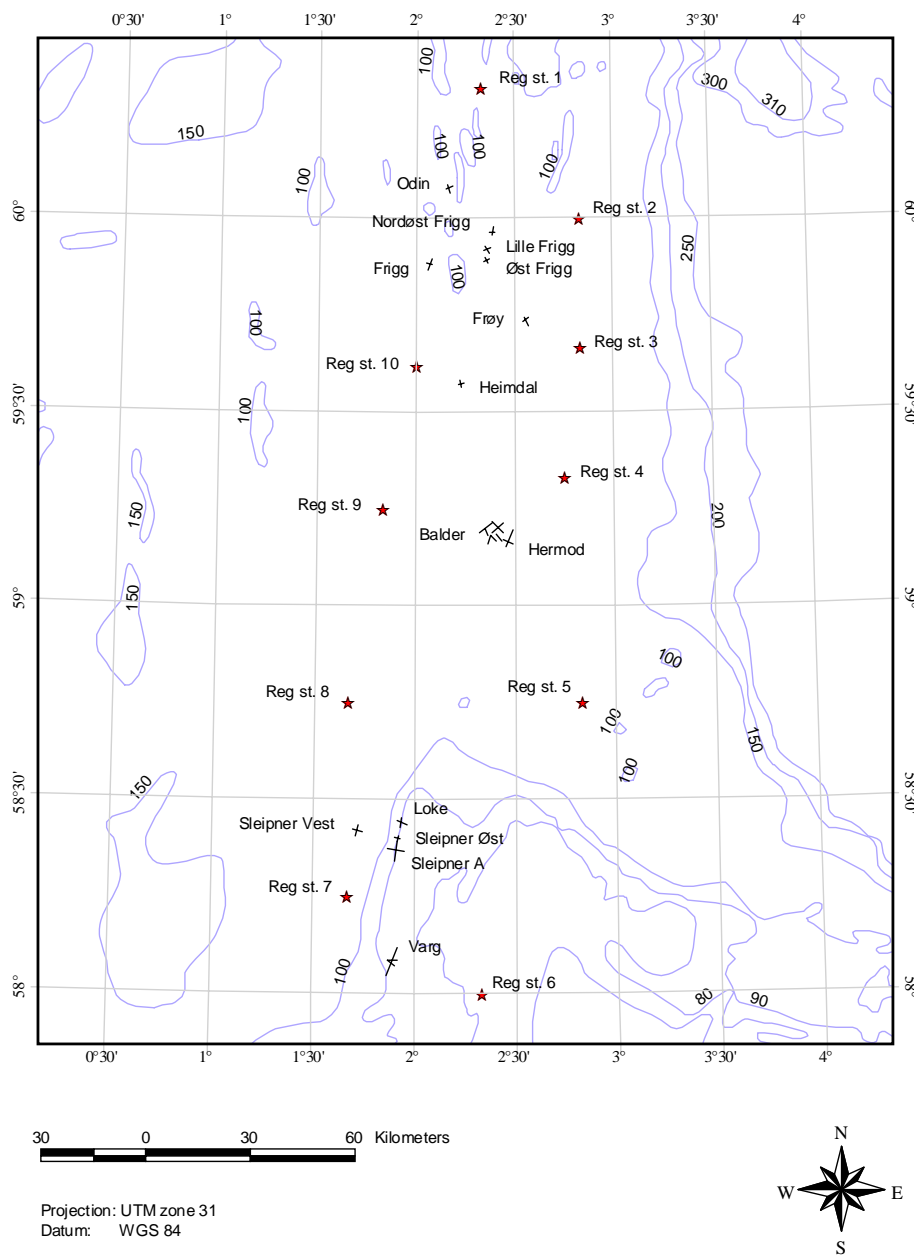


Figure 1: Location of the fields and Regional stations in Region II, 1997.

The survey was carried out by Akvaplan-niva AS in co-operation with the following laboratories:

- Unilab Analyse AS, Tromsø
- GeoGruppen AS, Tromsø
- NIVA, Oslo
- SEAS Ltd., Oban, Scotland

Samples were collected from a total of 182 designated sampling stations in the region. In addition to the usual physical, chemical and biological analyses, samples were analysed in order to quantify traces of olefin-based mud in the sediments at Frøy and Balder, and the content of ester at SLA and Loke. Sediment from Sleipner West was analysed for traces of DFE-622 used in water based mud. The information obtained was used to define and interpret any discernible patterns in the data gathered. Temporal and spatial changes of the various parameters are also described. Samples taken from regional/reference stations were also included, in order to compare any effects of the drilling activities with background conditions in the region. The surveys at Varg and Hermod were baseline surveys.

The following analyses were carried out on the samples collected:

- grain size distribution
- organic material content
- organic carbon content (only at regional stations)
- hydrocarbon content
- content of synthetic base oils: olefins or esters
- metal content (additional results from digestion with hydrofluoric acid/aqua regia included at regional stations)
- faunal analyses

Undisturbed sediment in the North Sea is primarily olive-grey in colour, with a good penetration of oxygen into the sediment. The sediment is notably darker in colour in cases where contamination has led to a reduction in oxygen availability. This is due to the formation of sulphides in the absence of oxygen. Accumulation of oil in the sediment is also recognisable both visually and by smell.

The grain size distribution in the sediments varies from clay and fine mud to very coarse sandy sediments. Many benthic organisms are adapted to a particular range of sediment grain size, such that a shift in this parameter may affect the faunal communities. In addition, the analysis of grain size distribution is indicative of current conditions in the area; fine grained sediment is found where the current is relatively slow, whilst strong currents result in coarser bottom sediments. The accumulation of material from industrial discharges may affect the sediment grain size composition.

The amount of organic material in the sediment depends upon the deposition of plant and animal matter from the water column above. Deposited detritus will be broken down by the benthic fauna, such that there is no net accumulation of organic material in the sediment. In certain areas, human activities will result in an increase in the organic content of the sediment.

The background levels of total hydrocarbon content in sediments from Region II in the North Sea typically varies from 3 to 7 mg/kg. The hydrocarbons are analysed using gas chromatography techniques. This allows an assessment to be made of the extent to which elevated levels of hydrocarbons are due to the presence of oil, as this type of hydrocarbons give an easily recognisable gas chromatographic pattern. Traces of most pseudo-oils also are easily detected by the methods used. In addition to the total amount of hydrocarbons analysed at all stations, the content of specific aliphatic and aromatic hydrocarbons is quantified at selected locations.

The natural amount of metals in sediments varies with sediment type and texture. The industrial activity at the fields may give rise to elevated levels of various metals. The samples were analysed for the presence of heavy metals such as mercury, cadmium, zinc, copper and lead. In addition, since barium sulphate is used to increase the density of the drilling mud, the content of barium in the sediment is an important indicator of the spread of drilling cuttings on the sea floor.

The species composition of faunal communities is influenced by many factors, amongst which the character of the sediment and the presence of any contamination play a vital role. In undisturbed conditions, the number of species present (i.e. diversity) is high and there is a relatively even distribution of the number of individuals present per species amongst the population. More disturbed conditions resulting from organic enrichment or other physical or chemical stress factors lead to a reduction in diversity, where some species decrease while others increase in abundance. All animals collected in the samples were sorted from the remaining sediment, identified to species level wherever possible and the number of individuals of each species recorded.

The results from the statistical analyses give an indication as to whether the environmental conditions around the installations are affected by the petroleum extraction activities. This is done by means of a comparison of the individual stations both with each other and with the regional/reference station. In the case of monitoring surveys, the results are compared with those obtained in previous investigations. Any correlations between the analysed environmental variables and the faunal composition were analysed by means of correspondance analysis (CA) and canonical correspondance analysis (CCA).

The sampling stations at each field are based on already established stations. The selection of stations in the 1997 survey in Region II is based on historical data of each field. In general 3 - 4 stations in the main current direction and 1 - 2 stations in the other directions were selected to be included in the present survey. Regional stations from 10 sites were selected based on the differences in depth and topography between areas and possible influence from adjacent areas.

Criteria for faunal impact are based on a combination of multivariate analyses such as cluster analysis and Multidimensional scaling (MDS) and evaluation of the numerical faunistic data (number of species and individuals, diversity indices etc.) at each station. The various ways of categorising faunal groups in the past at the different fields throughout the region have been reviewed and the following four broad groupings have been recognised:

Group A: Relatively undisturbed communities, with low dominance (no species present in very high numbers) and a wide range of species from a variety of taxonomic groups, including molluscs, echinoderms and crustaceans. Moderate species numbers and total abundance, high biomass.

Group B: Slightly disturbed communities: increased numbers of smaller polychaetes and molluscs, fewer echinoderms. Higher species numbers and abundance, lower biomass.

Group C: Moderately disturbed communities: small deposit feeding polychaetes predominate together with a few small bivalve molluscs and small deposit feeding crustaceans, echinoderms rare. High species numbers, abundance and biomass.

Group D: Highly disturbed communities: small deposit feeding worms totally predominate (polychaetes, oligochaetes, nematodes). Echinoderms absent and molluscs and crustaceans rare or absent. Low species numbers and biomass, high total abundance.

Natural geographical variation in the faunal communities might occur within each group.

The survey was conducted from "Geoboy", a vessel chartered from Eidsvik & Co., Bømlo. The field work was carried out between 22.05 and 05.06. 1997. Positioning was carried out by the captain and second officer of "Geoboy". The equipment used was a differential GPS (Global Positioning System). Positioning by the this navigation system has an accuracy within ± 10 m. The boat was held in position within ± 50 m by use of the thrusters. The sampling was done with a 0.1 m^2 lead weighted, modified van Veen grab. The grab had hinged and lockable inspection flaps constructed of 0.5 mm mesh. The upper side of each flap was covered by an additional rubber flap allowing water to pass freely through the grab during lowering, yet closing the grab to prevent the sediment surface being disturbed by water currents during hauling.

During sampling at station 5 (100 m from the centre) at Odin, the grab was fouled in some construction on the sea bed and lost while sampling at station 5 (100 m from the field centre). The operator suggested that this indicates that the vessel was out of position because no constructions should be found at this site.

Geographical positions for all stations in Region II are given in the field report. The depth varies from approximately 70 m in the south to 125 m in the Balder area. The current direction differs somewhat in the Region, in the Frigg area the residual current direction is in the SE direction, in the Balder area mainly in SE and E direction and in the Sleipner and Varg area in N to NE direction.

More detailed information is given in the main report.

3. Results, discussion and conclusions

3.1 Region II

The results obtained by chemical and biological analyses of the sediments from the ten regional and twelve reference stations in Region II, in addition to differences in the sediment textures, showed that Region II could be divided into two sub-regions; Region II-a consisting of the Balder, Frigg, Lille Frigg, North East Frigg, East Frigg PSA, East Frigg PSB, Frøy, Heimdal, Hermod, Odin and Sleipner West fields and Region II-b consisting of the Sleipner East and Varg fields. The sediment texture at two of the fields in Region II-a, Balder and Hermod, differed from those generally found in this sub-region. At these fields, the sediments were characterised by a higher content of pelite (silt and clay fractions) than the general levels found in Region II-a, a difference which is often reflected by a different metal content. The different background levels of metals at Balder and Hermod were taken into account when the areas contaminated with selected metals were identified at this fields.

The total hydrocarbon concentrations found in sediments at the fields in Region II ranged from 418 ± 76 mg/kg to concentrations well below 10 mg/kg. Most of the hydrocarbon measurements at the fields in Region II were carried out at stations located 250, 500, 1000 m from the petroleum installations. By comparing hydrocarbon levels at these distances, the fields could be placed subjectively into two groups, one comprising the Balder, Varg and Sleipner West field and the other group comprising the remaining fields. Balder and Varg had hydrocarbon concentrations up to 300-400 mg/kg dry sediment at at least one of the innermost stations. Sleipner West which was placed in the same group as Balder and Varg, had a maximum THC concentration just above 100 mg/kg dry sediment. As expected from the recent drilling and discharge history at Balder, poly- α -olefins contributed to the total hydrocarbon content at this field. At Sleipner West and Varg, mineral oil were seen in the sediment extracts from several stations, even though there has been no plan for discharges of cuttings polluted with mineral oil. The remaining fields in Region II, had hydrocarbon contents below 25 mg/kg at the innermost stations. As expected from the recent drilling and discharge history at the Frøy field, traces of poly- α -olefins were found in several of the sediment extracts. At East Frigg and Odin, degraded mineral oil was seen at some of the innermost stations. There has been no discharges at the Odin field since 1994, but parts of the installation was transported away before the survey in May 1997. This work might have stirred the sediment at the sea bed. Two of the sediment extracts from the innermost stations at Loke, showed a profile that could be related to previous petroleum activity.

The highest concentrations of barium (values above 2000 mg/kg) were found at two of the fields with the highest levels of hydrocarbons; Balder and Sleipner West. For the remaining fields in Region II, there does not seem to be a direct correlation between the distribution of barium and the "grouping" of fields based on the hydrocarbon results. For all the fields in Region II, the hydrocarbon and barium contents along the different field-axes were related to the main current direction in the area. Three of the fields, Balder, Varg and Sleipner West, separated out with the highest amounts of hydrocarbons and barium in the main current direction (NW, NE and NE of the installations respectively). At the remaining fields, no such correlation between hydrocarbons and barium and main current direction was found.

Sediment from the Frøy, Balder and Sleipner East field were analysed for traces of synthetic drilling muds. Detectable amounts of Ultidrill were found at some of the innermost stations at the Frøy field. The highest concentration found was 7 mg/kg. At the Balder field, the drilling mud Anco TecB has been discharged, and traces of this mud were found at most of the stations at the field. Values above 100 mg/kg were found at at least one of the stations around each well. At the Balder field the elevated hydrocarbon-levels expressed as THC, are directly correlated to input of Anco TecB to the sediment. In general, the concentrations of Anco

TecB decreased rapidly with increasing distance from the drilling-site. Sediments from Loke and SLA were analysed for traces of the ester-based mud Petrofree. In general, low contents of Petrofree were found at both fields. Most of the concentrations were just above the detection limit. The highest amounts of ester (13 mg/kg) were found at one of the stations close to the Loke template. The levels of ester around SLA are low compared to what might be expected from the recent drilling discharges. Sediment from Sleipner West was analysed with regard to traces of DFE-622 used in water based mud, but DFE-622 was not detected in any of the samples.

The fauna in Region II is, with a few exceptions, highly diverse and found to be in an undisturbed condition. The uni- and multivariate statistical analyses carried out on the biological data suggest some considerable variation amongst the ten regional and twelve reference stations. On the basis of low diversity, high dominance level, its isolation in the multivariate analyses and the presence of large populations of small polychaetes, Regional station 2 was considered to be somewhat enriched and was therefore placed in an intermediate position between faunal Group A and Group B (undisturbed to slightly disturbed populations), according to the standards defined in the introduction chapter. However, none of the measured environmental variables at this station differ from those at the other regional or reference stations and are therefore not related to field activities in the region. This suggests that the faunal populations are influenced by other unidentified food sources at this site.

Although the other Regional and reference stations are characterised as belonging to Group A (undisturbed) they are by no means uniform in their populations. The station depth, number of taxa and the total abundance as well as abundance in single taxa, at the reference stations at Sleipner East and Varg and Regional station 6 differs greatly from the other stations in the region. The number of taxa and individuals at the regional/reference stations varied from 67 (Sleipner East) to 158 (Reg. st. 10 and Heimdal) and from 402 (Varg) to 2744 (Reg. st. 2), respectively. Also the sedimentary grain size differs considerably in the region with the lowest pelite content found in the Sleipner East/Varg area (reference values 0.8 - 1.4 %) and the highest in the Hermod/Balder area (reference values 13.3 - 13.8 %).

The multivariate analyses suggested that Sleipner East/Varg area also was widely dissimilar from the other areas in the region in faunal composition and for this reason, the data from this area have not been generally included in the statistical comparisons of regional data with field data. To do so would minimise any differences attributable to field related vs regional effects. The other field reference and regional stations have higher biological similarities, although the CCA analysis ordered them in relation to differences in levels of lead, zinc and fine sand.

Three fields, Odin, Frøy and Heimdal, have stations in the moderately disturbed faunal group (Group C). A further four fields, Lille Frigg, East Frigg, Balder and Sleipner East have stations in the slightly disturbed faunal group (Group B), whilst five fields, North East Frigg, Frigg, Hermod, Sleipner West and Varg, only have stations in the undisturbed faunal group (Group A). Out of the 182 stations sampled across the region as a whole, 155 (85 %) were in Group A, 23 (13 %) were in Group B, 4 (2 %) were in Group C and none were in the highly disturbed Group D. The Group C fauna was found at 100 - 250 m distance and the Group B fauna at 250 - 500 m distance from the respective installation centre. The distributions (distance from centre) of these faunal groups at the different fields are given under the respective results chapters.

3.2 Regional and reference stations

The total hydrocarbon content in sediments from the Region II regional/ reference stations ranged from 2 to 8 mg/kg dry sediment. The only exception was found at the Balder reference station, which had a hydrocarbon content at 11 mg/kg dry sediments. The station depths at the regional station 6 and the Sleipner East and Varg reference stations are 71-86 m, while the depths at the remaining regional/reference stations ranged from 98 to 123 m. As for the regional station 6, also the sediments at the Sleipner East and Varg reference stations are characterised by a low content of pelite (<1%), and low amounts of TOM (<1%), THC (<5 mg/kg) and barium (6-24 mg/kg). Accordingly, it seems reasonable to split the Region into 2 sub-regions, based on the chemical background levels obtained by analysis of the sediments; Region II-a consisting of the regional stations 1-5 and 7-10 together with the Balder, Frigg, Lille Frigg, North East Frigg, East Frigg PSA, East Frigg PSB, Frøy, Heimdal, Hermod and Odin reference stations and Region II-b consisting of the regional station 6 and the Sleipner East and Varg reference stations. Two of the fields in Region II-a, Balder and Hermod, had a higher content of pelite in the sediments than the general level found at the Region II-a regional/reference stations. This difference is often reflected by a different metal content in the sediments. The different background levels of metals at Balder and Hermod were taken into account when the areas contaminated with metals were assigned.

The fauna in Region II is, with a few exceptions, highly diverse and found to be in an undisturbed condition. On the basis of the different uni- and multivariate statistics carried out on the faunal data, all the regional stations were designated as Group A (undisturbed) with the exception of Regional station 2. Due to the low diversity, high dominance level, its isolation in the multivariate analyses and the presence of large populations of small polychaetes, this station was considered to be somewhat enriched and therefore placed in an intermediate position between Group A and Group B (undisturbed to slightly disturbed) populations, by the standards defined in the introduction chapter. However, none of the measured environmental variables at this station differ from those at the other regional or reference stations and therefore are not related to field activities in the region. This suggests that other unidentified food sources are available at this site. The CCA results suggested that the differences between the other regional and reference stations represents a natural variation in sediment structure over the region.

3.3 Varg

The present survey at Varg is a baseline survey.

The area significantly contaminated with THC extends out to 1000 m on the 20°-axis and out to 500 m on the 200°, 245°- and 335°-axes (stations 8, 9, 10, 11, 12, 15 and 16). The hydrocarbon concentrations range from 12 to 75 mg/kg, at stations 8, 11, 12, 15 and 16, while the hydrocarbon contents at stations 9 and 10 are above 100 mg/kg dry sediment. The gas chromatograms from several stations indicates the presence of mineral oil, even though spills of base oils have not been reported. Elevated levels of Ba are found out to 250 m on the 20°- and 200°-axes (stations 10 and 11). The highest concentrations of THC and Ba (see below) are found at station 10 (250 m, 20°). By comparing the THC and metal levels along the four axes, it is possible to point out the 20°-axis (main current direction) as the axis with the highest amounts of these compounds.

The various statistical analyses carried out on the faunal data at the Varg field suggest that all stations surveyed fall into the undisturbed faunal category, Group A. The differences between the stations (or group of stations) that appear in the multivariate analyses are considered to be a result of natural variation in the sediment structure and not related to the field activity,

although elevated levels of THC and barium are registered at some stations close to the centre. The CCA results support this conclusion. The minimum and maximum values for some of the parameters, together with the reference value, from Varg 1997 are shown in Table 1.

Table 1: The minimum and maximum values for some of the parameters, together with the reference value from Varg, 1997.

Parameter	Min. value	Station	Max. value	Station	Reference station
% pelite	0.4	1, 4	2.2	15	1.4
% TOM	0.58	20	0.82	10	0.93
THC (mg/kg)	1.2 ± 0.6	FPU 19	362 ± 140	10	3.4 ± 1.3
NPD's * (µg/kg)	5 ± 2	7	258 ± 66	10	17 ± 4
3-6 ring aromatics* (µg/kg)	22 ± 1	7	37 ± 11	10	55 ± 18
Decalins* (µg/kg)	48 ± 18	7	60700 ± 33619	10	50 ± 10
Barium (mg/kg)s	11 ± 1	1	175 ± 59	10	23 ± 3
No. of taxa	54	9	85	1	71
No. of ind.	235	9	559	FPU 19	402
Diversity (H')	4.7	2	5.5	1	5.1

*) Analysed at two stations.

3.4 Sleipner East

The Sleipner East field includes the Sleipner A (SLA) platform and the two templates Loke and SLE.

The highest concentrations of hydrocarbons (10-15 mg/kg) and barium (998-1130 mg/kg) were found at stations L5 and SLE24. This year, L5 and SLE24 were found to be contaminated with hydrocarbons, cadmium, lead, zinc and copper, while the remaining stations were found to be contaminated with barium. The same stations were also regarded as contaminated with barium in the 1993 and 1994 surveys. None of the stations investigated in the 1993-SLE and 1994-SLA surveys were deemed to be significantly contaminated with hydrocarbons. In the 1993 Loke survey, stations L2, L3, L4, L5, L6 in addition to the 1000 m/280° station were deemed to be contaminated with hydrocarbons.

Compared to the 1993/1994 results, the content of hydrocarbons and selected metals were almost unchanged or reduced, the only exception being SLE24 where the hydrocarbon, barium, copper and zinc concentrations had increased. At L5, the hydrocarbon and barium concentrations were reduced with 130 and 1200 mg/kg dry sediment, respectively.

Sediments from selected stations around Loke and SLA were analysed for the ester-based mud Petrofree. In spite of the fact that there has been no discharges at Loke in recent years, the highest amount of ester (13 ± 14 mg/kg) was found at L5. The levels at the remaining stations ranged from 0.01 to 0.08 mg/kg.

On the basis of the various statistical analyses carried out on the faunal data at the Sleipner East field, two station groups were defined as follows: Group B (slightly disturbed) contained L5, SLE24 and SLA 29, 33 and 37, while the rest of the stations, where biological analyses have been carried out, are placed in Group A (undisturbed). All the Group B stations are located at 250 - 500 m distance from their respective centres. The distribution of these groups over the field is illustrated in Figure 2. This showed that the area of faunal effects at Loke has decreased since 1993 while an increase of effects are observed at SLE and SLA.

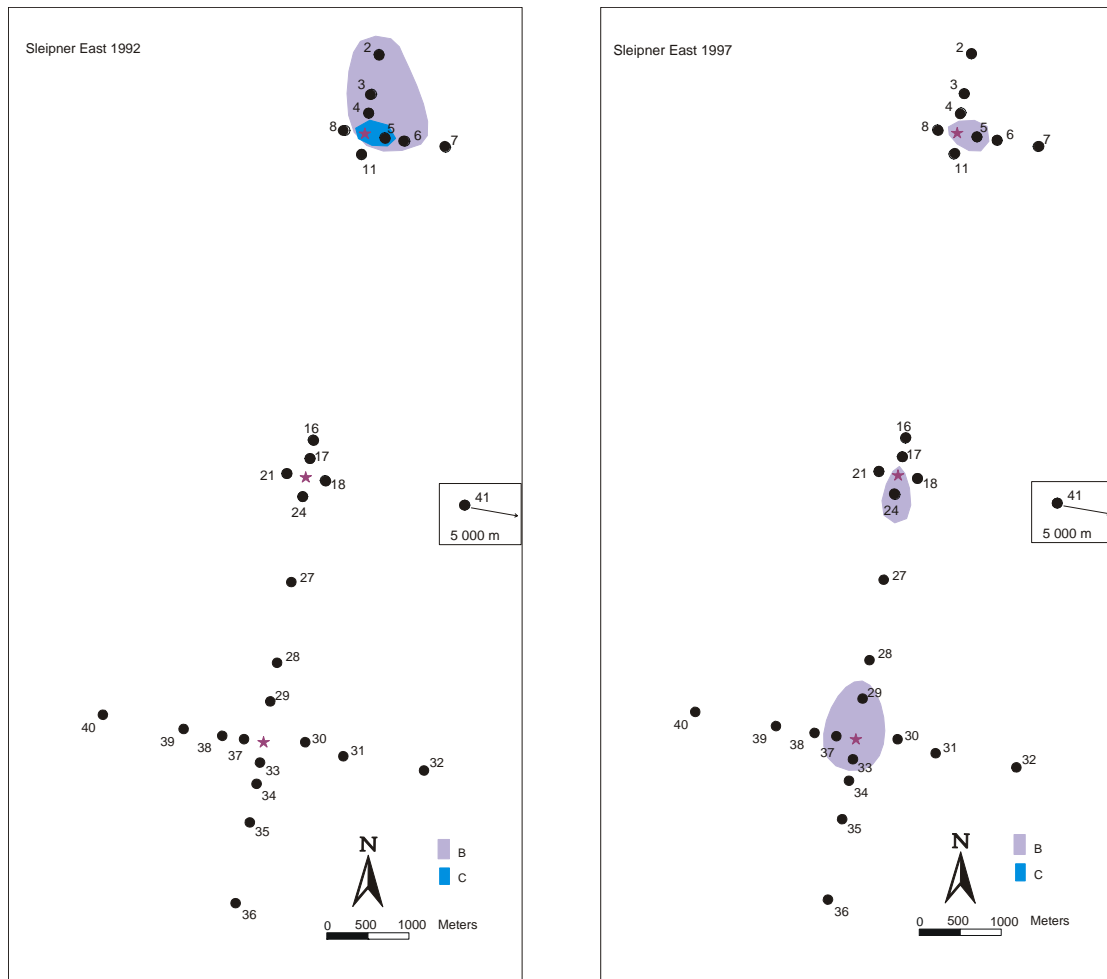


Figure 2: The distribution of faunal groups at Sleipner East, 1997 and the previous survey.

The CCA results showed that 41 % of the biological variance was explained by the four environmental variables TOM, cadmium, zinc and station depths, whilst the other entered variables, including the remaining metals, THC and grain size were non-significant. This suggests that the gradient of environmental change emanating from the platform is governed by general disturbance effects rather than by strong contamination. However, the effect is strong enough to influence the distribution of organisms over the area sampled around the platform.

The minimum and maximum values for some of the parameters, together with the reference value, from Sleipner East 1997 are shown in Table 2.

Table 2: The minimum and maximum values for some of the parameters, together with the reference value from Sleipner East, 1997.

Parameter	Min. value	Station	Max. value	Station	Reference station
% pelite	1.0	L2	2.9	SLE24	0.8
% TOM	0.59	SLA38	1.84	SLE24	0.64
THC (mg/kg)	1.1 ± 0.5	SLA30	14.6 ± 0.5	SLE 24	2.0 ± 0.9
Petrofree (mg/kg)	0.01 ± 0	SLA30	13 ± 14	L5	**
NPD's * (µg/kg)	9 ± 3	SLA 28	31 ± 20	L4	4 ± 1
3-6 ring aromatics* (µg/kg)	26 ± 4	SLA28	59 ± 20	L4	20 ± 1
Decalins* (µg/kg)	32 ± 4	SLE17	101 ± 54	SLA29	33 ± 10
Barium (mg/kg)	37 ± 7	L7	1130 ± 378	L5	16 ± 3
No. of taxa	65	SLA39	115	SLE24	67
No. of ind.	431	SLA30	1202	SLA33	453
Diversity (H')	3.9	SLA33	5.3	L4	4.9

*) Analysed at four stations: L4, SLE17, SLA28 and SLA29.

***) Not analysed.

3.5 Sleipner West

The area significantly contaminated with hydrocarbons extends out to 1000, 500, 500 and 250 meter on the 10°-, 190°-, 280°- and 100°-axes, respectively (stations 1, 2, 3, 6, 10, 11 and 15). At these stations, the hydrocarbon content ranged from 12 to 131 mg/kg dry sediment. The whole area investigated was found to be contaminated with barium, cadmium and zinc. In the 1994 baseline survey, none of the stations were deemed to be significantly contaminated with hydrocarbons and selected metals analysed. Sediment from selected stations was analysed with regard to traces of DFE-622 used in water based mud, but DFE-622 was not detected in any of the samples.

Compared to the 1994 results, the hydrocarbon and barium levels have increased at the Sleipner West field. The largest increases were seen in the main current direction (10°-axis).

The various statistical analyses carried out on the faunal data at the Sleipner West field suggest that the stations surveyed all fall into the undisturbed faunal category, Group A. The differences between the stations (or groups of stations) that appear in the multivariate analyses is considered to be a result of natural variation and not related to the field activity, although elevated levels of THC and barium are registered at some stations. The CCA and other multivariate analysis results suggest that the intra-field differences at Sleipner West are much smaller than the variance between individual regional and reference stations and that there are no discernible effects of field related disturbances on the faunal distributions within the field.

The minimum and maximum values for some of the parameters, together with the reference value, from Sleipner West 1997 are shown in Table 3.

Table 3: The minimum and maximum values for some of the parameters, together with the reference value from Sleipner West, 1997.

Parameter	Min. value	Station	Max. value	Station	Reference station (Sleipner East 41)
% pelite	7.1	10	10.9	15	0.8
% TOM	1.6	7	2.3	10	0.64
THC (mg/kg)	7.3 ± 0.4	12	131 ± 93	10	2.0 ± 0.9
NPD,s * (µg/kg)	35 ± 4	12	166 ± 122	10	4 ± 1
3-6 ring aromatics* (µg/kg)	115 ± 29	10	119 ± 12	12	20 ± 1
Decalins* (µg/kg)	153 ± 38	12	9865 ± 7531	10	33 ± 10
Barium (mg/kg)	402 ± 18	8	2480 ± 151	15	16 ± 3
No. of taxa	132	15	152	10	67
No. of ind.	1097	12	1765	1	453
Diversity (H')	4.7	17	5.7	12	4.9

*) Analysed at two stations.

3.6 Hermod

The present survey at Hermod is a baseline survey.

The general hydrocarbon level at the Hermod field is comparable to the hydrocarbon content at the reference station (8 mg/kg). Only stations 4 (500 m/110°) and 11 (250 m/200°) were found to have elevated levels of hydrocarbons (12-15 mg/kg). The area contaminated with barium extends out to 250 m on the 290°-axis and out to 500 m on the 20°- and 200°-axes (stations 3, 9, 10, 11 and 12). The content of the other metals ranged from concentrations below to concentrations slightly above those found at the Hermod reference station.

The various statistical analyses carried out on the faunal data at the Hermod field suggest that all stations surveyed, including the reference station, fall into the undisturbed faunal category, Group A, in comparison with the other fields surveyed across the region. Thus, they have high species diversities and fairly low abundances and species dominance. The CCA results showed that 39 % of the biological variance was explained by the four environmental variables station depth, lead, pelite and fine sand, whilst the other entered variables, including all other metals and THC, were non-significant. This suggests that natural environmental factors, probably related to slight changes in grain size distributions, are the major influence on the distribution of organisms over the sampling area.

The minimum and maximum values for some of the parameters, together with the reference value, from Hermod 1997 are shown in Table 4.

Table 4: The minimum and maximum values for some of the parameters, together with the reference value from Hermod, 1997.

Parameter	Min. value	Station	Max. value	Station	Reference station
% pelite	7.2	6	10.7	12	13.8
% TOM	1.76	9	2.40	4	2.12
THC (mg/kg)	5.9 ± 0.2	8	15 ± 6	11	7.7 ± 1.2
NPD's * (µg/kg)	35 ± 9	8	43 ± 8	10	31 ± 7
3-6 ring aromatics* (µg/kg)	146 ± 18	8	171 ± 26	10	145 ± 34
Decalins* (µg/kg)	112 ± 29	8	124 ± 13	10	93 ± 1
Barium (mg/kg)	82 ± 16	6	1117 ± 6	11	114 ± 30
No. of taxa	115	9	131	6	133
No. of ind.	953	2	1417	6	1338
Diversity (H')	5.2	4, 5, 7, 9, 13	5.5	1, 3, 6, 10	5.6

*) Analysed at two stations.

3.7 Balder

The general picture at the Balder field is that all the stations placed on the well templates B- and D-axes, except station 12, are contaminated with hydrocarbons, while the 250-500m stations on the same axes are contaminated with barium. From the well template A, stations contaminated with hydrocarbons were found out to 500 m and stations contaminated with barium out to 1000 m. From well template C, the area contaminated with hydrocarbons and barium extends out to 500 m on the 198°-axis and out to 1000 m on the 135°-axis.

Hydrocarbon concentrations above 100 mg/kg dry sediment were found at eight stations (stations 9, 16, 22, 33, 34, 37, 42 and 45), due to discharges of cuttings contaminated with poly- α -olefins (Anco TecB). All these stations are located 250-500 m from their respective centres.

Since 1996, the content of hydrocarbons and barium have increased at the 250-500 m stations on the A54°-, B135°-, C198°- and D270°-axes. None of the stations included in the 1996 baseline survey were deemed to be contaminated with hydrocarbons, while the barium content at the two innermost stations on the B135°-axis were found to be significantly higher than the reference level.

On the basis of the various statistical analyses carried out on the faunal data at the Balder field, two station groups were defined as follows: faunal Group B (slightly disturbed) containing stations 9, 16, 22, 33, 37, 42, 45 and 46 while the fauna at the rest of the stations are considered undisturbed (Group A). The distribution of the station groups is shown in Figure 3. None of the stations surveyed in 1996 were found to be disturbed. All the Group B stations are located 250 - 500 m from their respective centre. The stations in Group B have relatively high abundance of opportunistic polychaetes.

The CCA results showed that 36 % of the biological variance was explained by the five environmental variables station depths, zinc, barium, pelite and fine sand, while the other entered variables, including TOM, THC and the remaining metals, were non-significant. The number of individuals and taxa and the diversity have increased at most of the stations surveyed in both years.

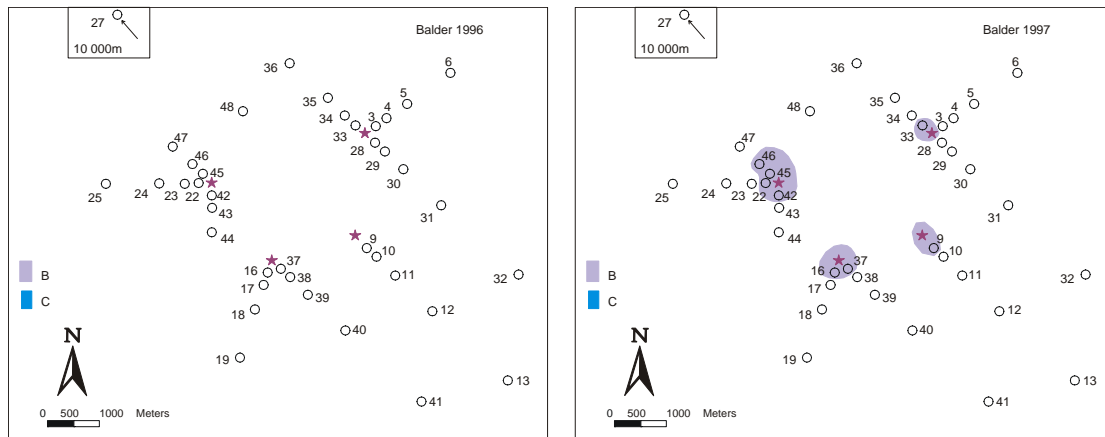


Figure 3: Distribution of faunal groups at Balder, 1997 and the previous survey.

The minimum and maximum values for some of the parameters, together with the reference value, from Balder 1997 are shown in Table 5.

Table 5: The minimum and maximum values for some of the parameters, together with the reference value from Balder, 1997.

Parameter	Min. value	Station	Max. value	Station	Reference station
% pelite	9.3	32	14.5	42	13.3
% TOM	0.85	37	3.88	45	1.26
THC (mg/kg)	3.6 ± 1.9	6	418 ± 76	16	
Anco TecB (mg/kg)	465 ± 82	6	<0.5	5,6,13,18,44,48	<0.5
NPD's* (µg/kg)	29 ± 4	12	453 ± 267	9	39 ± 2
3-6 ring aromatics* (µg/kg)	132 ± 31	12	259 ± 92	9	127 ± 1
Decalins* (µg/kg)	69 ± 40	28	1644 ± 996	9	152 ± 58
Barium (mg/kg)	116 ± 28	18	2053 ± 1120	16	104 ± 17
No. of taxa	84	16	136	30	112
No. of ind.	531	42	1395	40	781
Diversity (H')	4.4	33	5.9	23	5.8

*) Analysed at four stations: 9, 12, 28 and 31.

3.8 Heimdal

The levels of hydrocarbons were very evenly distributed over the Heimdal stations. The hydrocarbon concentrations range from 14 ± 5 to 18 ± 8 mg/kg dry sediment. The large standard deviations of the hydrocarbon values are due to some very different replicate values, but at each station, at least one of the sediment samples had a hydrocarbon content comparable to the hydrocarbon level at the reference station (9 mg/kg). The gas chromatogram profiles of the sediment extracts showed no indications of oil related hydrocarbons. According to the limit of significant contamination of hydrocarbons calculated for Region II-a, all stations are deemed to be contaminated with hydrocarbons, but compared to the hydrocarbon content at the reference station, station 4 ($180^\circ/250$ m) is the only station significantly contaminated with hydrocarbons. In 1992, the area significantly contaminated with hydrocarbons extended out to 250 m/ 150° , 1000 m/ 330° and 500 m/ 180° . The barium content ranges from 565 mg/kg to 290 mg/kg dry sediment. All the stations investigated this year are found to be contaminated with barium. By comparison, in 1992, only the four 250 m stations were deemed to be contaminated with barium.

Compared to the 1992 results, the THC content has increased at all the Heimdal stations which were included in the present survey. However, when this year's relatively high THC levels at the reference station are taken into account, the contents of hydrocarbons are considered almost unchanged since 1992. The contents of Ba are reduced since 1992.

On the basis of the various statistical analyses carried out on the faunal data at the Heimdal field three station groups were defined as follows: faunal Group A (undisturbed) containing stations 4, 19 and the reference station, Group B (slightly disturbed) containing station 8 and Group C (moderately disturbed) containing station 3. The distribution of these stations over the field is shown in Figure 4. The CCA results show that 24 % of the biological variance was explained by the three environmental variables zinc, barium and pelite, whilst the other entered variables, including the remaining metals, THC and total organic matter were non-significant.

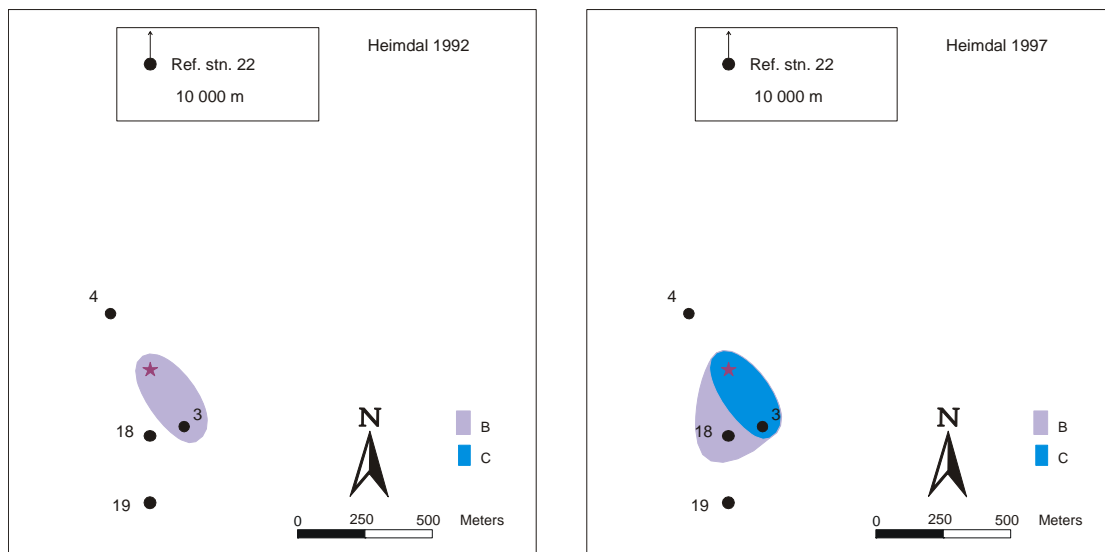


Figure 4: Distribution of faunal groups at Heimdal, 1997 and the previous survey.

There has been a considerable decrease in the benthic populations at all stations since the previous biological sampling in the area in 1992. The mean number of individuals per station (excluding the reference station) has decreased with 36 % (21 % at the reference station) while the mean number of taxa is equal in the two survey. A comparison of the population changes at individual stations since the 1992 survey suggests that there has been a marked change in the conditions in the area over the ensuing period, particularly at the station 3 situated 250 m SE of the centre. At this station, defined as faunal Group B (slightly disturbed) in 1992, the populations were now more characteristic of the moderately disturbed Group C. Thus, at this station, a considerable increase in the populations of opportunist polychaete worms had occurred. It should be noted that the mean levels of metals in general are lower at the Group B and C stations in 1997 than those recorded in 1992, while the THC levels are higher.

The minimum and maximum values for some of the parameters, together with the reference value, from Heimdal 1997 are shown in Table 6.

Table 6: The minimum and maximum values for some of the parameters, together with the reference value from Heimdal, 1997.

Parameter	Min. value	Station	Max. value	Station	Reference station
% pelite	6.9	3	10.1	4	9.7
% TOM	1.31	18	1.61	19	1.81
THC (mg/kg)	14 ± 5	19	18 ± 8	4	9.1 ± 2.6
NPD's * (µg/kg)	29 ± 5	3	*	*	22 ± 6
3-6 ring aromatics* (µg/kg)	107 ± 12	3	*	*	85 ± 38
Decalins* (µg/kg)	125 ± 12	3	*	*	158 ± 63
Barium (mg/kg)	292 ± 41	3	565 ± 139	4	90 ± 21
No. of taxa	147	3	173	18	158
No. of ind.	1324	3	2017	18	1608
Diversity (H')	5.6	4	5.9	18, 19	6.1

*) Analysed at one station.

3.9 Frøy

The total hydrocarbon content at the Frøy field ranged from 7-20 mg/kg dry sediment. The average hydrocarbon content at the 250 m stations (stations 4, 5, 13 and 14) was approximately 15 mg/kg dry sediment. The synthetic base fluid Ultidrill contributes to the total amount of hydrocarbons at all the 250 m-stations and at the 500 m-stations along the 150°- and 240°-transects. The highest concentration of Ultidrill (7.4 ± 6.9 mg/kg) was found at station 4, where one of the replicate samples had a content above 15 mg/kg. The highest concentrations of barium (1048 ± 319 mg/kg) were found in the sediments from station 4. At the remaining stations, the barium content ranged from 300 - 700 mg/kg dry sediment.

This year, the area significantly contaminated with hydrocarbons extends out to 500 m on the 60°-axis and 250 m on the 150°, 330°- and 240°-axes (stations 4, 5, 13, 14 and 15), while all stations investigated are contaminated with barium. The same stations were also regarded as contaminated with barium in 1994. In 1994, only stations 3, 4 and 5 were deemed to be contaminated with hydrocarbons.

Compared to the 1994 results, the hydrocarbon level has increased over the whole Frøy field. The largest increases were found at stations 13, 14 and 15 where the hydrocarbon content has increased with 10-15 mg/kg since 1994. The contents of barium are unchanged or reduced since 1994.

On the basis of the various statistical analyses carried out on the faunal data at the Frøy field three station groups were defined as follows: faunal Group A (undisturbed) containing stations 2, 6, 12, 15 and the reference station, Group B (slightly disturbed) containing stations 3, 13 and 14 and Group C (moderately disturbed) containing stations 4 and 5. The distribution of these groups over the field is illustrated in Figure 5.

The CCA results showed that 39.4 % of the biological variance was explained by the four environmental variables station depth, lead, zinc and barium, whilst the other entered variables, including the remaining metals, THC, grain size and total organic matter were non-significant. The CCA results from the field station analysis where the amount of Ultidrill in the sediment was included showed that 47.7 % of the biological variance was explained by the two environmental variables Ultidrill and fine sand, while the other variables were non-significant. The first axis had a strong, significant positive correlation with concentrations of Ultidrill in the sediment and station 3, 4, 5, 13 and 14 were placed at the positive end of this axis (station 4 with the highest and station 3 with the lowest positive score) and therefore are

positively correlated with the Ultidrill levels. It seems, therefore, that the disturbed fauna noted at these stations is a consequence of enrichment related to input of Ultidrill to the sediments.

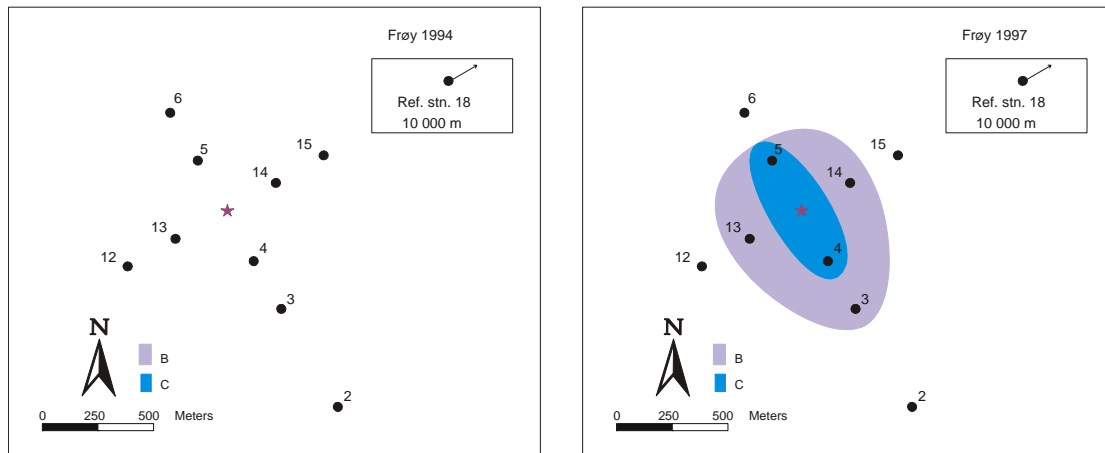


Figure 5: Distribution of faunal groups at Frøy, 1997 and the previous survey.

The minimum and maximum values for some of the parameters, together with the reference value, from Frøy 1997 are shown in Table 7.

Table 7: The minimum and maximum values for some of the parameters, together with the reference value from Frøy, 1997.

Parameter	Min. value	Station	Max. value	Station	Reference station
% pelite	5.0	12	9.3	2	6.5
% TOM	1.07	12	1.69	2	1.49
THC (mg/kg)	7.3 ± 1.0	6	19 ± 8	14	5.2 ± 1.4
Ultidrill (mg/kg)	<0.5	2,6,15	7.4 ± 6.9	4	<0.5
NPD's* (µg/kg)	41 ± 8	2	100 ± 23	4	26 ± 9
3-6 ring aromatics* (µg/kg)	69 ± 17	4	95 ± 13	2	61 ± 7
Decalins* (µg/kg)	88 ± 8	2	116 ± 68	4	77 ± 15
Barium (mg/kg)	313 ± 36	12	1048 ± 319	4	76 ± 14
No. of taxa	138	6	158	3, 14	155
No. of ind.	1209	6	3067	4	1792
Diversity (H')	4.4	4	6.2	12	5.8

*) Analysed at two stations.

Comparison of the population changes at individual stations since the 1994 survey suggests that there has been a marked change in the conditions in the area over the ensuing period, particularly at the stations closest to the field centre. Thus, at the stations 3, 4, 5, 13 and 14, situated 250 m in all directions and 500 m SE of the centre and designated as belonging to faunal Group A (undisturbed) in 1994, the populations were now more characteristic of the slightly to moderately disturbed Groups B and C. Thus at those stations, a decrease in the populations of brittle stars and a considerable increase in the populations of opportunist polychaete worms has occurred. Also at station 15 and the reference station, placed in an intermediate position between Group A and B in 1997, similar changes have occurred, but to a lesser extent.

3.10 Frigg

The hydrocarbon concentrations ranged from 10 mg/kg dry sediment (station 1) to values below the background level (7.0 mg/kg). None of the stations included in this years survey, were deemed to be significantly contaminated with hydrocarbons. In 1992, stations significantly contaminated with hydrocarbons were found out to 500 m on the 350°-axis (stations 1 and 11) and out to 200 m on the 70°-axis (station 2), while elevated levels of hydrocarbons were found out to 250 m on the DP2 170°- and 350°-axes (stations 24 and 25). This year, the barium concentrations ranged from 171 ± 18 mg/kg dry sediment (station 2) to values below the background level (71 mg/kg). The highest concentrations of lead, zinc, copper and cadmium were found at the station with the highest hydrocarbon content (station 1). Station 1 was found to be contaminated with barium, cadmium, zinc, lead and copper, station 2 with barium, zinc, lead and copper, while the remaining stations, except station 27, were contaminated with lead, zinc and copper.

Relative to the average hydrocarbon content found in the sediments from the Frigg reference station in 1992 and 1997, the hydrocarbon content is reduced or unchanged at the Frigg field. The content of barium has decreased at all stations, except for stations 2 and 4.

The various statistical analyses carried out on the faunal data at the Frigg field suggest that there is very little difference in the benthic faunal distributions between the sampling stations in the present survey. The only large distinction is seen at the stations 1 - 4 adjacent to TCP2 and TP1 where the populations of filter feeding and deposit feeding polychaetes are higher than elsewhere. These differences do not appear to be reflected in any consistent differences in any of the contaminant parameters there although the CCA suggests that it might relate to a slight disturbance gradient across the area. This does not distinguish the field stations clearly from the regional and the other reference stations. There are no grounds, therefore, for concluding that any of the field stations can be differentiated from the rest on the basis of industrial disturbance. They should all, therefore, be classified as faunal Group A (undisturbed) in comparison with other fields and areas.

There has been a considerable decrease in the benthic populations at the reference station and, to a lesser degree, at the field stations, since the previous biological sampling in the area in 1992. The numbers of individuals has decreased at most stations while the number of taxa has increased at some stations. With the exception of station 4, the faunal diversity has increased at all stations. The minimum and maximum values for some of the parameters, together with the reference value, from Frigg 1997 are shown in Table 8.

Table 8: The minimum and maximum values for some of the parameters, together with the reference value from Frigg, 1997.

Parameter	Min. value	Station	Max. value	Station	Reference station
% pelite	0.49	2	1.88	11	3.92
% TOM	0.63	4, 24	0.90	1, 27	1.16
THC (mg/kg)	4.0 ± 1.0	24	9.6 ± 0.1	1	6.2 ± 1.3
NPD's * ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	23 ± 10	2	*	*	24 ± 5
3-6 ring aromatics* ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	49 ± 25	2	*	*	48 ± 8
Decalins* ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	73 ± 42	2	*	*	99 ± 25
Barium (mg/kg)	46 ± 13	3	171 ± 18	2	43 ± 5
No. of taxa	111	1	130	4	136
No. of ind.	945	25	2490	4	2012
Diversity (H')					

*) Analysed at one station.

3.11 East Frigg

The highest amounts of hydrocarbons barium, cadmium, copper and lead were found at PSB station 7 (150°, 250m). Hydrocarbon concentrations slightly above 10 mg/kg are found at stations PSA 6 (330°, 500m), and PSB 17 (240°, 250 m). The stations contaminated with hydrocarbons are PSA station 6 and PSB stations 7 and 17. In 1991, slightly elevated levels of hydrocarbons were found at the stations placed 250 m from both PSA and PSB. In 1991, none of the stations had a THC content above 10 mg/kg dry sediment. The area contaminated with barium extends 500 m/330°, 250 m/150° and 60° from PSA and 250 m/ 150° and 240° from PSB. In 199, the area contaminated with barium extended 500 m/330° and 150° and 250 m/60° and 240° from PSA and 250 m/150°, 60° and 240° from PSB.

Since 1991 the hydrocarbon content at PSB station 7 has increased from 8.4 ± 1.3 to 26 ± 21 mg/kg dry sediment. At the remaining stations, the hydrocarbon contents are generally unchanged since the previous survey. The content of barium was reduced or almost unchanged since 1991. The only exception was found at PSB 7 where the concentration had increased from 217 ± 58 to 388 ± 267 mg/kg dry sediment.

The various statistical analyses carried out on the faunal data at the East Frigg field suggest that the stations sampled can be placed in faunal Group A, since all are undisturbed by field-related activities. The results show that there are no outstanding differences between the reference station and the other field stations in the univariate statistics. The CCA results show that 34 % of the biological variance was explained by the five environmental variables station depths, lead, zinc, copper and barium, whilst the other entered variables, including the THC, grain size and total organic matter were non-significant. This suggests that the gradient of environmental change emanating from the installation is governed by general disturbance effects rather than by strong contamination. However, the effect is not strong enough to influence the distribution of organisms over the area sampled since all the East Frigg stations have positive values on the axis, which is negatively associated with contaminant levels.

There has been a considerable decrease in the benthic populations at all but station PSA 20 and PSB 20 and 21 while the number of taxa has increased at all but stations PSA 9, 21 and reference station 1 and PSB 8 and 17 since 1991. The mean number of individuals per station (excluding the reference stations) decreased by 33 % between the two surveys, while the mean number of taxa increased by 15 %. The most remarkable change among species is seen in the decrease in abundance for some polychaetes in the whole East Frigg area. As a result, the diversity has increased considerably (mean values 3.3 and 4.9 in the previous and present survey, respectively). These increases were seen across the entire area sampled, implying that the phenomenon was general and not linked to field activities. It should be noted that such large inter-annual increases have been recorded previously in other area of the northern North Sea. For example, between 1990 and 1993, the mean number of individuals at the Ekofisk 2/4 B&K stations rose by 59 % and taxa by 22 %. This appeared to reflect natural fluctuations in the benthic faunal communities, and not attributed to the petroleum activities in the area. This also seems the most likely explanation for the changes recorded in the present survey.

The minimum and maximum values for some of the parameters, together with the reference value, from East Frigg 1997 are shown in Table 9.

Table 9: The minimum and maximum values for some of the parameters, together with the reference value from East Frigg, 1997.

Parameter	Min. value	Station	Max. value	Station	Reference stations
% pelite	3.09	PSB8	5.56	PSA7	PSA 2.37 PSB 5.51
% TOM	0.96	PSA18	1.17	PSA7	PSA 0.96 PSB 0.69
THC (mg/kg)	6.1 ± 1.6	PSA20	26 ± 21	PSB7	PSA 5.0 ± 1.1 PSB 4.3 ± 0.7
NPD's * (µg/kg)	33 ± 5	PSA8	75 ± 72	PSB7	PSA 28 ± 13 PSB 19 ± 1
3-6 ring aromatics* (µg/kg)	41 ± 1	PSA8	79 ± 54	PSB7	PSA 28 ± 12 PSB 69 ± 12
Decalins* (µg/kg)	80 ± 10	PSA8	228 ± 183	PSB7	PSA 103 ± 67 PSB 96 ± 4
Barium (mg/kg)	72 ± 17	PSB15	388 ± 267	PSB7	PSA 39 ± 8 PSB 72 ± 14
No. of taxa	117	PSB18	145	PSA20	PSA 103 PSB 143
No. of ind.	1274	PSA18	2457	PSB6	PSA 1295 PSB 1979
Diversity (H')	4.2	PSB17	5.6	PSB7	PSA 5.0 PSB 5.4

3.12 Lille Frigg

In the present survey, low total hydrocarbon contents (6-9 mg/kg) were found in the sediments from the Lille Frigg field. None of the stations investigated were deemed to be contaminated with hydrocarbons. In 1995, the stations contaminated with hydrocarbons were C1-station 4 and 12 and C2-station 19. The barium concentrations ranged from 1232 ± 310 mg/kg (C2-station 18) to 203 ± 72 mg/kg dry sediment (C3- station 24). All the stations investigated in the present survey were found to be contaminated with barium. The same stations were also regarded as contaminated with Ba in 1995. Compared to the 1995 results, the contents of hydrocarbons in the sediments were almost unchanged, while the contents of barium were reduced.

On the basis of the various statistical analyses carried out on the biological data from Lille Frigg field two station groups were defined as follows: faunal Group A (undisturbed) containing stations 11, 19, 24 and the reference station and Group B (slightly disturbed) containing stations 4, 12 and 18. The distribution of the faunal groups is shown in Figure 6.

The CCA results show that stations 4, 12 and 18 are most strongly associated with drilling related disturbance effects. They are also distinguished from the other field stations by having higher total number of taxa and abundance and high numbers of individuals per species. In terms of species composition, they differ in having higher numbers of small opportunistic polychaetes. It should be noted, however, that all these differences are relatively minor.

There are no obviously consistent differences in any of the physical and chemical variables between the Group A and Group B stations other than the association of the Group B stations with barium in the CCA. A slight disturbance to the stations S and E of C1 (stations 4 and 12) and to the W of C2 is detected, consisting of a small increase in faunal diversity and density at those stations with higher barium levels.

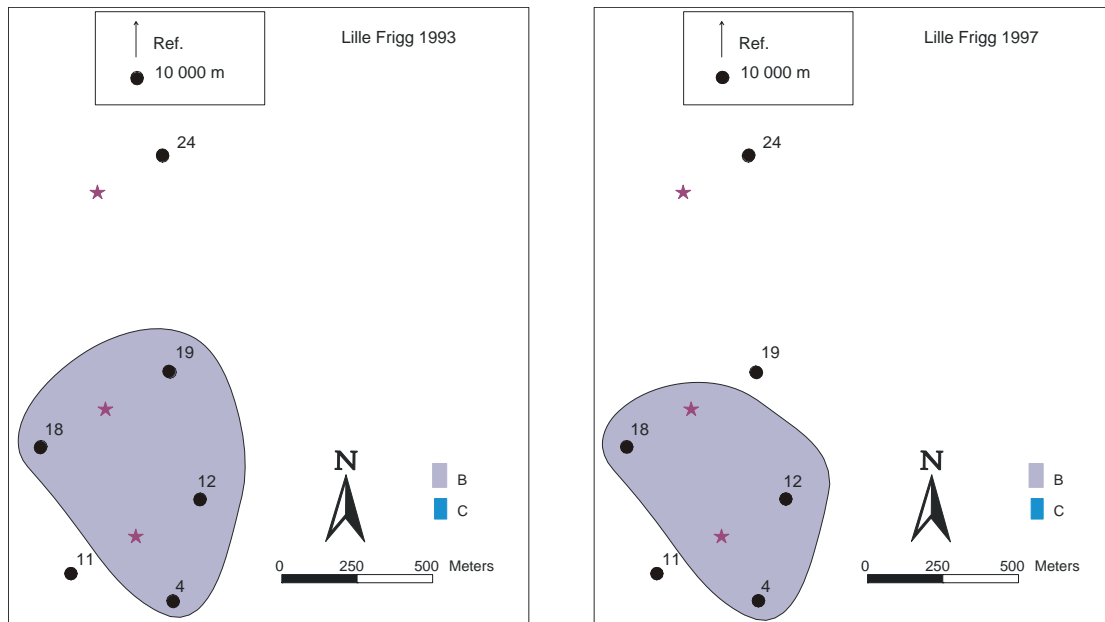


Figure 6: Distribution of faunal groups at Lille Frigg in 1997 and the previous survey.

The minimum and maximum values for some of the parameters, together with the reference value, from Lille Frigg 1997 are shown in Table 10.

Table 10: The minimum and maximum values for some of the parameters, together with the reference value from Lille Frigg, 1997.

Parameter	Min. value	Station	Max. value	Station	Reference station
% pelite	3.37	11	6.06	12	3.36
% TOM	0.67	11	1.45	12	1.00
THC (mg/kg)	5.9 ± 1.0	24	8.7 ± 2.1	11	8.3 ± 1.1
NPD's* (µg/kg)	40 ± 10	4	*	*	15 ± 0
3-6 ring aromatics* (µg/kg)	56 ± 3	4	*	*	44 ± 9
Decalins* (µg/kg)	56 ± 16	4	*	*	99 ± 23
Barium (mg/kg)	203 ± 72	24	1232 ± 310	18	48 ± 9
No. of taxa	123	24	156	12	137
No. of ind.	1490	24	3748	18	1580
Diversity (H')	4.2	19	5.4	11	5.3

*) Analysed at one station.

There has been an increase in the number of individuals and taxa at all stations since the 1993 survey. The mean number of individuals per station (excluding the reference station) has increased by 34 % (18 % at the reference station) while the number of taxa has increased by 35 % (23 % at the reference station). Also the faunal diversity has increased at all stations during the same period. Abundance levels were higher in 1997 than in 1993 at all seven stations surveyed but only higher than the levels recorded in 1992 at stations 4, 11 and 18. Taxon numbers were higher in 1997 at all stations than the numbers recorded in both 1992 and 1993.

3.13 North East Frigg

In common with the previous survey of 1992, the sediments from the reference station had the highest contents of hydrocarbons and selected metals. None of the stations investigated in the present survey were found to be contaminated with hydrocarbons and barium. In general, the contents of hydrocarbons and selected metals across the sampling field were almost unchanged since 1992.

The various statistical analyses carried out on the faunal data at the North East Frigg field suggest that the stations sampled have a faunal composition typical of undisturbed sediments of this type in the northern North Sea. All stations are defined as belonging to Group A in faunal characteristics when compared with faunal distributions elsewhere in the region (although the reference station 20 differs somewhat from the field stations in faunal composition).

There has been a general increase in the amount of THC and TOM in the sediments at the North East Frigg field and a general decrease in metal contents since the previous survey. The species diversity has increased, which was explained by the decrease in abundance of the most dominant polychaetes in the 1992 survey. These species still predominated in 1997 at the reference station, but had declined to relatively low numbers at the field stations. Surveys in other areas of the North Sea have suggested that populations of these species fluctuate widely from year to year in response to natural environmental factors. The general decline in these populations and a concomitant increase in the numbers of non-polychaete species, have meant that the populations in the area are now somewhat more diverse and evenly distributed than in 1992.

The CCA results showed that 37 % of the biological variance was explained by the four environmental variables pelite, lead, barium and zinc, whilst the other entered variables, including the remaining metals, THC and total organic matter, were non-significant. None of the potential contaminants measured showed levels above the significant contamination limit, thus the association of the faunal distributions with the three metals and pelite in the CCA ordination reflects a natural gradient in grain size distributions in the area.

The mean number of individuals per station (excluding the reference station) has decreased by 41 % while the mean number of taxa is similar when comparing the two surveys. At the reference station the number of individuals decreased by 15 % and the number of taxa increased by 20 %, relative to the previous survey.

The minimum and maximum values for some of the parameters, together with the reference value, from North East Frigg 1997 are shown in Table 11.

Table 11: The minimum and maximum values for some of the parameters, together with the reference value from North East Frigg, 1997.

Parameter	Min. value	Station	Max. value	Station	Reference station
% pelite	1.15	23	2.01	22	3.33
% TOM	0.66	5, 22	0.78	6	1.16
THC (mg/kg)	2.8 ± 0.3	6	6.6 ± 2.3	23	8.9 ± 1.2
NPD's * (µg/kg)	8 ± 2	5	*	*	25 ± 12
3-6 ring aromatics* (µg/kg)	18 ± 1	5	*	*	43 ± 9
Decalins* (µg/kg)	5 ± 8	5	*	*	110 ± 19
Barium (mg/kg)	17 ± 4	23	26 ± 10	6	53 ± 5
No. of taxa	89	6	108	5	128
No. of ind.	640	22	759	23	1550
Diversity (H')	5.3	6	5.5	22	4.8

*) Analysed at one station.

3.14 Odin

This year, the highest hydrocarbon (11-20 mg/kg) concentrations were found at the 100 m stations on the 340°, 250° and 160°- axes (stations 3, 5 and 7). These stations, are the stations also significantly contaminated with hydrocarbons. In 1991, stations 1, 3, 5, 7 and 4 were deemed to be slightly contaminated with hydrocarbons. The highest amounts of barium were found in the sediments from the stations 3, 4 and 5 (80-112 mg/kg). Station 3 is the only station found to be contaminated with barium. In 1991, the four 100 m stations (stations 1, 3, 5 and 7) were deemed to be contaminated with barium. Compared to the 1991 results, the hydrocarbon levels have increased at stations 3, 5 and 7. At the remaining stations, the hydrocarbon contents are almost unchanged since the previous survey. The content of barium are almost unchanged since 1991.

On the basis of the various statistical analyses carried out on the faunal data at the Odin field three station groups were defined as follows: faunal Group A (undisturbed) containing stations 1, 2, 4, 6, 8, 9, 10, 11, 12, the reference station, Group B (slightly disturbed) containing stations 3 and 7 and Group C (moderately disturbed) containing station 5. The distribution of these groups over the field is illustrated in Figure 7.

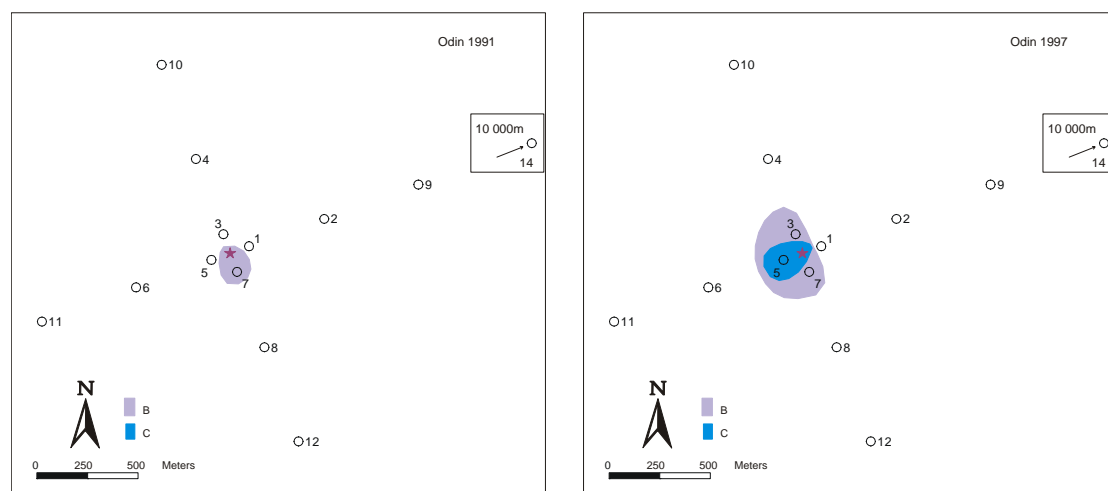


Figure 7: Distribution of faunal groups at Odin in 1997 and the previous survey.

The stations in Group B and C have the highest abundance of opportunistic polychaetes. The values for metals and THC generally are highest at the Group C stations and lowest at the Group A stations, which demonstrates a gradient of increasing contamination with diminishing distance from the centre.

The CCA results showed that 41.5 % of the biological variance was explained by the five significant environmental variables cadmium, lead, zinc, barium and pelite, which have a strong positive association with the first axis of the ordination. The three stations with disturbed fauna, station 5 (Group C) and stations 3 and 7 (Group B) have high positive scores on this axis, suggesting that the disturbance recorded is associated with metal contamination in the sediments. The other entered variables, including THC and total organic matter, were non-significant.

The minimum and maximum values for some of the parameters, together with the reference value, from Odin 1997 are shown in Table 12.

Table 12: The minimum and maximum values for some of the parameters, together with the reference value from Odin, 1997.

Parameter	Min. value	Station	Max. value	Station	Reference station
% pelite	1.61	3	2.79	4	3.45
% TOM	0.76	12	1.32	5	1.12
THC (mg/kg)	3.6 ± 0.9	8	11 ± 7	7	8.1 ± 1.7
NPD's * (µg/kg)	16 ± 11	12	97 ± 126	7	21 ± 5
3-6 ring aromatics* (µg/kg)	22 ± 3	12	54 ± 46	7	64 ± 24
Decalins* (µg/kg)	35 ± 2	12	102 ± 85	7	113 ± 51
Barium (mg/kg)	22 ± 5	12	112 ± 80	3	38 ± 3
No. of taxa	82	12	120	6	87
No. of ind.	564	12	1522	7	858
Diversity (H')	4.1	5	5.8	11	4.6

*) Analysed at two stations.

The mean number of individuals per station is similar in the two surveys compared, while the mean number of taxa has increased by 24 % relative to the previous survey. With the exception of station 5, the diversity has increased at all stations since 1991. Two opportunistic polychaete species, indicative of organic enrichment, have increased in abundance at some of the stations at 100 m distance from the centre. At the stations with disturbed fauna (station 3, 5 and 7), the amount of THC in the sediment has increased markedly between the two surveys.

It should be noted that the grab was fouled in some construction on the sea bed and lost while sampling at station 5 (100 m from the field centre). The operator suggested that this indicates that the vessel was out of position because no constructions should be found at this site. Drilling at the field ended some 15 years ago and only water based mud was then used, while the last reported discharge at the field occurred in 1994. Local physical disturbance of the sediment while removing the installation in 1994 may have occurred.

MILJØUNDERSØKELSE

REGION II

1997

NORSK SAMMENDRAGSRAPPORT

Norsk sammendrag

Innholdsfortegnelse

1. SAMMENDRAG	2
2. INNLEDNING.....	4
3. RESULTATER, DISKUSJON OG KONKLUSJONER.....	8
3.1 Region II.....	8
3.2 Regionale- og referansestasjoner.....	9
3.3 Varg	10
3.4 Sleipner Øst.....	11
3.5 Sleipner Vest	13
3.6 Hermod.....	14
3.7 Balder	15
3.8 Heimdal	16
3.9 Frøy	18
3.10 Frigg.....	19
3.11 Øst Frigg.....	21
3.12 Lille Frigg.....	22
3.13 Nordøst Frigg	24
3.14 Odin.....	25

1. Sammendrag

Statoil, Norsk Hydro, Esso, Elf Petroleum og Saga Petroleum ga Akvaplan-niva AS (kontraktnr. ANS025799) i oppdrag å utføre en regional miljøundersøkelse av de fysiske, kjemiske og biologiske forhold i sedimentet i Region II i Nordsjøen. Feltene som var med i undersøkelsen var Varg, Sleipner Øst (inkludert Loke, SLA og SLE), Sleipner Vest, Hermod, Balder, Heimdal, Frøy, Frigg, Øst Frigg, Lille Frigg, Nordøst Frigg og Odin. Feltarbeidet ble utført mellom 22.05 og 05.06 1997 da prøver fra totalt 182 stasjoner ble innsamlet.

Resultatene fra kjemiske og biologiske analyser av sediment fra de ti regionale stasjonene og tolv referansestasjoner viste, i tillegg til ulik sedimentsammensetning, at Region II kunne deles inn i to underregioner; Region II-a bestående av feltene Balder, Frigg, Lille Frigg, Nordøst Frigg, Øst Frigg PSA, Øst Frigg PSB, Frøy, Heimdal, Hermod, Odin og Sleipner Vest og Region II-b bestående av feltene Sleipner Øst og Varg.

De totale hydrokarbonkonsentrasjonene som ble funnet i sedimentene på feltene i Region II, varierte fra 418 ± 76 mg/kg til konsentrasjons godt under 10 mg/kg. De fleste målingene av hydrokarboner på feltene i Region II ble utført på stasjoner lokalisert 250, 500 og 1000 m fra petroleums installasjonene. Ved å sammenligne nivåene av hydrokarboner på disse avstandene, kunne feltene subjektivt plasseres i to grupper, en gruppe bestående av feltene Balder, Varg og Sleipner Vest og en annen gruppe bestående av de øvrige feltene i regionen. Balder og Varg hadde hydrokarbonkonsentrasjoner opp mot 300-400 mg/kg tørt sediment på minst en av de innerste stasjonene. Sleipner vest er plassert i samme gruppe som Balder og Varg, men hadde en maksimum konsentrasjon av hydrokarboner like over 100 mg/kg tørt sediment. Som forventet utfra nylig bore- og utslippshistorie på Balder, bidrar poly- α -olefiner til det totale innholdet av hydrokarboner på dette feltet. Mineralolje ble sett i sedimentekstraktene fra flere stasjoner på Sleipner Vest og Varg selv om det ikke har vært planlagt utslipp av kaks forurenset med mineralolje. De øvrige feltene i Region II hadde hydrokarboninnhold under 25 mg/kg på de innerste stasjonene. Som forventet utfra den siste bore- og utslippshistorien på Frøy-feltet, ble det funnet spor av poly- α -olefiner i flere av sedimentekstraktene. På Øst Frigg og Odin ble rester av degradert mineralolje sett på noen av de innerste stasjonene. Det har ikke vært utslipp på Odin siden. Dette arbeidet kan ha rotet opp og forstyrret sedimentet på havbunnen. To av sedimentekstraktene fra de innerste stasjonene på Loke viste en profil som kan relateres til tidligere petroleumsaktivitet.

De høyeste konsentrasjonene av barium (verdier over 2000 mg/kg) ble funnet på to av feltene som hadde høyest nivå av hydrokarboner; Balder og Sleipner Vest. For de øvrige feltene i Region II, synes det ikke å være noen direkte korrelasjon mellom fordelingen av barium og grupperingen av felt basert på resultatene fra hydrokarbonanalysene. For alle feltene i Region II ble hydrokarbon og bariuminnhold langs de forskjellige felt-aksene sammenlignet med hovedstrømsretningen i området. Tre av feltene, Balder, Varg og Sleipner Vest, skilte seg ut ved å ha de høyeste mengdene av hydrokarboner og barium i hovedstrømsretningen (henholdsvis NV, NØ og NØ fra installasjonen). På de øvrige feltene ble det ikke funnet noen slik sammenheng mellom hydrokarboner og barium og hovedstrømsretning.

Sediment fra feltene Frøy, Balder og Sleipner Øst ble analysert for spor av syntetiske borevæsker. Påvisbare mengder av Ultidrill ble funnet i noen av de innerste stasjonene på Frøy-feltet. Den høyeste konsentrasjonen som ble funnet var 7 mg/kg. På Balder har borevæsken Anco TecB blitt sluppet ut, og rester av denne borevæsken ble funnet på de fleste stasjonene på feltet. Verdier over 100 mg/kg ble funnet på minst en av stasjonene rundt hver brønn. På Balder har de forhøyede nivåene av hydrokarboner, angitt som THC, direkte sammenheng med innhold av Anco TecB i sedimentet. Konsentrasjonene av Anco TecB avtok i hovedsak raskt med økende avstand fra borestedet. Sediment fra Loke og SLA ble analysert for innhold av den ester-baserte borevæsken Petrofree. Det ble generelt funnet lave

mengder av Petrofree på begge feltene. De fleste konsentrasjonene var såvidt over deteksjonsgrensen. Den største mengden ester (13 mg/kg) ble funnet på en av stasjonene nært templatet på Loke. Nivåene av ester rundt SLA er lave utfra hva man kunne forvente fra de rapporterte utslippene på feltet. Sediment fra Sleipner Vest ble analysert med hensyn på innhold av DFE-622, benyttet i vannbasert slam, men DFE-622 ble ikke påvist i noen av prøvene.

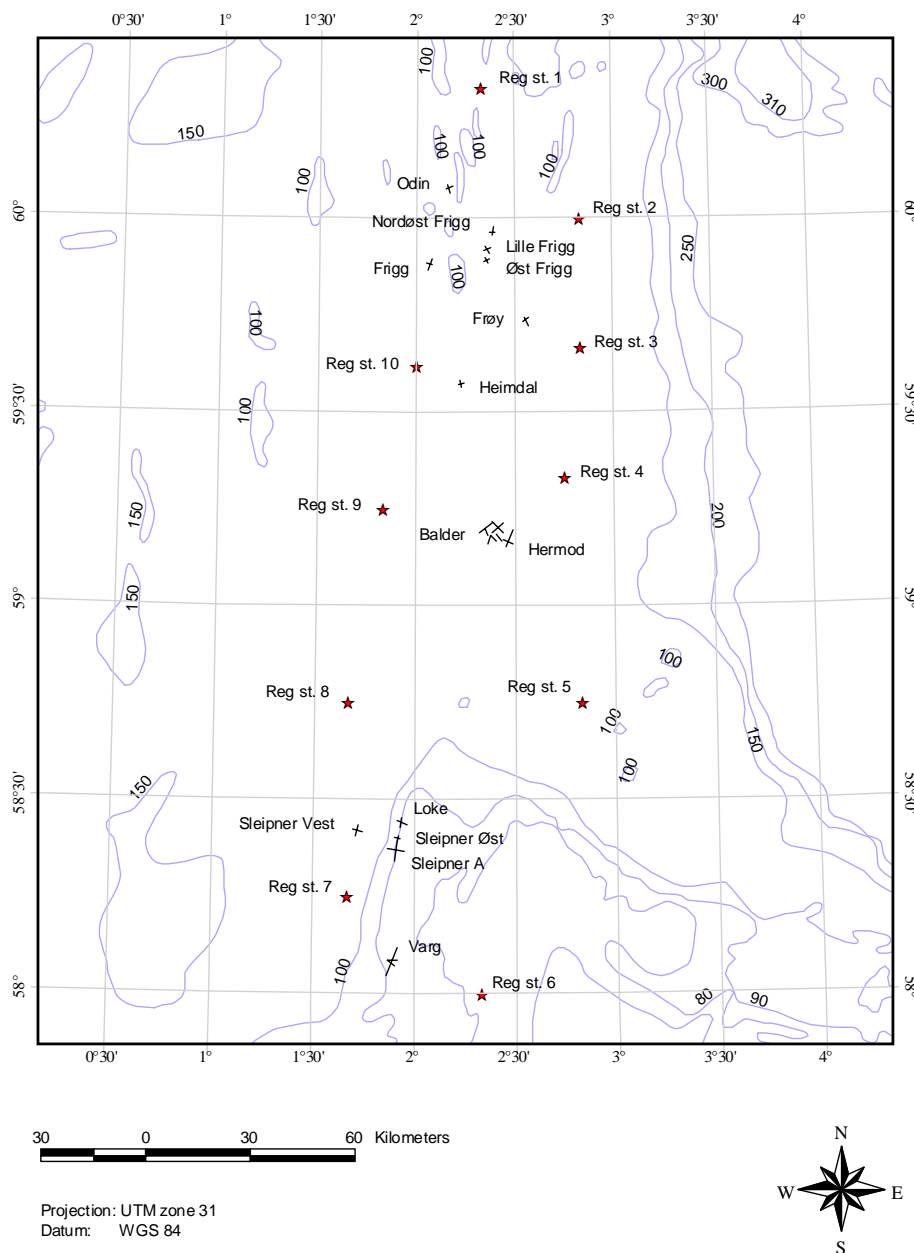
Faunaen i Region II har, med noen få unntak, høy diversitet og funnet å være i en uforstyrret tilstand. De uni- og multivariate statistiske analysene som ble utført med de biologiske data indikerte tildels store variasjoner blant de ti regionale og 12 referansestasjonene. På grunnlaget av den lave diversiteten, høye dominansen, isoleringen i de multivariate analysene og tilstedeværelsen av store populasjoner av små børstemark, ble regional stasjon 2 vurdert å være noe anriket og derfor plassert i en mellomstilling mellom faunagruppe B og C (uforstyrret til lett forstyrret). Imidlertid var ingen av de målte miljøvariablene på denne stasjonen forskjellig fra de andre regionale og referansestasjonene og dermed ikke relatert til aktivitetene på feltene i regionen. Dette tyder på at andre uidentifiserbare næringskilder er tilgjengelig på denne stasjonen.

Selv om de andre regionale og referansestasjonene er definert å være i faunagruppe A (uforstyrret) betyr det ikke at de har likheter i populasjonene. Stasjonsdyp, antall taxa og totalt individantall så vel som individantall hos enkeltarter på referansestasjonene på Sleipner Øst og Varg og regional stasjon 6er svært forskjellig fra de andre stasjonene i regionen. Antall taxa og individantall på de regionale- og referansestasjonene varierte fra henholdsvis 67 (Sleipner Øst) til 158 (reg. st. 10 og Heimdal) og fra 402 (Varg) til 2744 (reg. st. 2). Også kornstørrelsen varierte mye i regionen med lavest pelittinnhold (silt og leire) registrert i Sleipner Øst/Varg området (referanseverdier 0,8 - 1,4 %) og de høyeste i Hermod/Balder området (referanseverdier 13,3 - 13,8 %). De multivariate analysene tydet også på at faunasammensetningen i Sleipner Øst/Varg området var svært forskjellig og av den grunn ble data fra dette området hovedsakelig holdt utenfor i de statistiske sammenligningene av regionale data og felldata. På denne måten ble eventuelle forskjeller mellom feltrelaterte og regionale effekter minimalisert. De andre referanse- og regionale stasjonene hadde større biologisk likhet selv om de kanoniske korrespondanseanalysene ordnet dem i forhold til forskjellige nivåer av bly, sink og fin sand.

Tre felt, Odin, Frøy og Heimdal, hadde stasjoner i den moderat forstyrrete faunagruppen (gruppe C). I tillegg hadde fire felt, Lille Frigg, Øst Frigg, Balder og Sleipner Øst, stasjoner i den lett forstyrrete faunagruppen (gruppe B), mens fem felt, Nordøst Frigg, Frigg, Hermod, Sleipner Vest og Varg kun hadde stasjoner i den uforstyrrete faunagruppen (gruppe A). Av de 182 stasjonene som ble undersøkt i regionen var 155 (85 %) i gruppe A, 23 (13 %) i gruppe B, 4 (2 %) i gruppe C og ingen i den sterkt forstyrrete faunagruppen C. Gruppe C fauna ble registrert i 100 - 250 m avstand fra de respektive installasjonene. Utbredelsen av disse faunagruppene på de forskjellige feltene er gitt i de respektive resultatkapitlene.

2. Innledning

Statoil, Norsk Hydro, Esso, Elf Petroleum og Saga Petroleum ga Akvaplan-niva AS (kontraktnr. ANS025799) i oppdrag å utføre en regional miljøundersøkelse av de fysiske, kjemiske og biologiske forhold i bunnsedimentet i Region II i Nordsjøen. Feltene som var med i undersøkelsen var Varg, Sleipner Øst (inklusive Loke, SLA og SLE), Sleipner Vest, Hermod, Balder, Heimdal, Frøy, Frigg, Øst Frigg, Lille Frigg, Nordøst Frigg og Odin. Feltarbeidet ble utført mellom 22.05 og 05.06 1997 da prøver fra totalt 182 stasjoner ble innsamlet. I tillegg til stasjonene på hvert felt (inkl. referansestasjonene) ble prøver fra ti regionale stasjoner innsamlet. Plasseringen av feltene og de regionale stasjonene i Region II i 1997 er vist i Figur 1.



Figur 1: Lokalisering av feltene og de regionale stasjonene i Region II, 1997.

Undersøkelsen ble utført av Akvaplan-niva AS i samarbeid med følgende laboratorier:

- Unilab Analyse AS, Tromsø
- GeoGruppen AS, Tromsø,
- NIVA, Oslo
- SEAS Ltd., Oban, Skottland

Det ble samlet inn prøver fra totalt 182 utvalgte stasjoner i regionen. I tillegg til de ordinære fysiske, kjemiske og biologiske analysene, ble det analysert prøver for å kvantifisere innhold av olefinbasert baseolje i sedimentet på Frøy og Balder, innhold av ester på Sleipner A og Loke. Sediment fra Sleipner Vest ble analysert for innhold av DFE-622 som brukes i vannbasert boreslam. Disse data ble brukt til å definere og tolke mønstre og sammenhenger mellom de ulike kjemiske og biologiske faktorene som ble målt. I tillegg ble variasjoner av faktorene over tid og utstrekning beskrevet. I denne miljøundersøkelsen inngikk også prøver fra regionale- og referansestasjoner for å kunne sammenligne eventuell påvirkning med naturlige bakgrunnsnivåer i regionen. Undersøkelsene på Varg og Hermod er grunnlagsundersøkelser.

Følgende analyser ble utført på prøver samlet inn fra stasjonene:

- kornstørrelsesfordeling
- innhold av organisk materiale
- innhold av organisk karbon (kun på regionale stasjoner)
- hydrokarboninnhold
- innhold av syntetiske base oljer: olefiner og estere
- metallinnhold (tilleggsanalyser på regionale stasjoner basert på oppslutning med flussyre/kongevann)
- faunaanalyser

Upåvirket bunnsediment i Nordsjøen er i hovedsak olivengrått med god utskiftning av oksygen ned i sedimentet. Ved forurensning som fører til reduksjon i oksygentilgangen blir sedimentet mørkere i farge. Dette skyldes dannelse av sulfider ved fravær av oksygen. Større ansamlinger av olje i sedimentet merkes også både visuelt og ved lukt.

Kornstørrelsen i sedimentet kan variere fra leire og fint mudder til meget grovt sandig sediment. Mange bunnlevende dyr er tilpasset et spesielt sjikt av kornstørrelse slik at en endring i denne parameteren kan påvirke faunasamfunnet. Videre vil analysen si noe om strømforholdene; fint sediment tyder på rolige strømforhold mens grovt sediment finnes i mer strømhårde områder. Tilførsel av slam fra industrielle utslipp kan påvirke kornstørrelses-sammensetningen.

Mengden av organisk materiale i bunnsedimentet er avhengig av nedfall fra plante- og dyreproduksjonen i vannmassene over. Ved naturlig tilførsel vil dyrelivet på bunnen omsette dette slik at det ikke blir opphopning av organiske materiale i miljøet. I enkelte områder vil også menneskelig aktivitet påvirke det organiske innholdet i sedimentet ved økt tilførsel.

Bakgrunnsnivåene for totalt hydrokarboninnhold i sedimentprøver fra Region II i Nordsjøen varierer typisk mellom 3 og 7 mg/kg tørt sediment. Hydrokarbonene analyseres ved hjelp av gasskromatografi. Ved hjelp av denne teknikken kan en avgjøre i hvilken grad forhøyede hydrokarbon-nivåer skyldes tilstedeværelse av olje i sedimentet, ettersom oljerelaterte hydrokarboner gir et lett gjenkjennelig mønster i gasskromatogrammet. Spor av de fleste pseudo-oljene kan også lett påvises ved denne analysemetoden. I tillegg til å analysere totalt hydrokarbon på alle stasjoner, ble innholdet av spesifikke alifatiske og aromatiske hydrokarboner kvantifisert på utvalgte stasjoner.

Det naturlige metallinnhold i sedimentet varierer med sedimenttype og struktur. Den industrielle aktiviteten på feltene kan gi forhøyede nivåer av forskjellige metaller. Prøvene ble derfor analysert for utvalgte tungmetaller som kvikksølv, kadmium, sink, kobber og bly. Videre er bariuminnholdet i sedimentet en viktig indikator på spredningen av borekaks på havbunnen, ettersom bariumsulfat benyttes til å øke tettheten av boreslam.

Artssammensetningen i et bunndyrsmiljø er avhengig av lang rekke faktorer, deriblant sedimentets beskaffenhet og eventuell påvirkning av forurensning. Under gunstige forhold er artsmangfoldet (diversiteten) forholdsvis høy med mange arter og forholdsvis jevn fordeling av antall individer mellom artene. Ugunstige forhold som organisk belastning eller andre fysiske/kjemiske stressfaktorer fører til redusert artsmangfold ved at noen arter minker i individantall mens andre arter øker i individantall. Alle dyr sorteres ut av hver prøve og artsbestemmes og individantallet for hver art registreres.

Resultatene fra de statistiske analysene skal kunne gi svar på om miljøet rundt installasjonene er påvirket av petroleumsaktivitetene. Dette gjøres ved å sammenligne resultatene på de enkelte stasjonene mot hverandre og mot de regionale- og referansestasjonen. Ved overvåkningsundersøkelser sammenlignes resultatene mot tidligere undersøkelser. Eventuelle sammenhenger mellom de målte miljøvariablene og faunasammensetningen blir analysert ved hjelp av korrespondanseanalyser (CA) og kanoniske korrespondanseanalyser (CCA).

Innsamlingsstasjonene på hvert felt er basert på tidligere etablerte stasjoner. Utvelgelsen av stasjonene i 1997-undersøkelsen i Region II er basert på historiske data for hvert felt. Generelt ble 3 - 4 stasjoner i hovedstrømsretningen og 1 - 2 stasjoner i de andre retningene valgt til å inngå i denne undersøkelsen. Regionale stasjoner fra 10 lokaliteter ble valgt ut fra forskjeller i dyp og topografi mellom områder og mulig påvirkning fra nærliggende områder.

Kriteriene for faunapåvirkning er basert på en kombinasjon av multivariate analyser så som Cluster analyser og MDS (Multidimensional Scaling) og vurdering av numeriske data for faunaen (antall arter og individ, diversitetsindekser osv.) på de enkelte stasjonene. De forskjellige måtene å kategorisere faunagrupper i den senere tid på de forskjellige feltene i regionen har blitt vurdert og følgende fire grupper er definert:

Gruppe A: Forholdsvis uforstyrrete samfunn med lav dominans (ingen arter opptrer i meget store individantall) og ett vidt spekter av arter fra flere taksonomiske grupperinger, inklusiv bløtdyr (Mollusca), pigghuder (Echinodermata) og krepsdyr (Crustacea). Moderat artsantall og totalt individantall, høy biomasse.

Gruppe B: Lett forstyrrete samfunn med økt individantall hos små børstemark og bløtdyr, færre pigghuder. Høyere arts og individantall, lavere biomasse.

Gruppe C: Moderat forstyrrete samfunn med små detritusspisende børstemark dominerende sammen med enkelte små skjell og detritusspisende krepsdyr, pigghuder sjeldnere. Høyt arts- og individantall og høy biomasse.

Gruppe D: Sterkt forstyrrete samfunn med små detritusspisende mark (børstemark og rundmark) fullstendig dominerende. Pigghuder fraværende og bløtdyr og krepsdyr sjeldne eller fraværende. Lavt artsantall og lav biomasse, høyt totalt individantall.

Naturlige geografiske variasjoner i faunasamfunnet kan forekomme innen de enkelte gruppene.

Feltarbeidet ble utført ombord i “Geoboy” innleid fra Eidsvik & Co., Bømlo. Feltarbeidet ble utført mellom 22.05. og 05.06 1997. Posisjonering ble utført av kaptein og styrmann ombord. Utstyret som ble brukt var en differensiell GPS (Global Positioning System). Nøyaktigheten med dette utstyret er innenfor ± 10 m og båten ble holdt innenfor ± 50 m ved bruk av thrustere. Innsamlingen ble gjort med en modifisert 0,1 m² van Veen grabb som kunne vektjusteres ved hjelp av blylodd. Grabben har hengslete og låsbare inspeksjonsluker med 0,5 mm netting. Oversiden av hver luke var dekt med en gummilapp som lar vann strømme gjennom grabben under nedsenkningen og lukker tett inntil lukene under halingen slik at overflatesedimentet ikke forstyrres av vannbevegelser.

Under innsamlingen av prøver på stasjon 5 (100 m fra sentrum) på Odin satte grabben seg fast i en konstruksjon på sjøbunnen og grabben ble mistet. Etter opplysninger fra oljeselskapet skulle det ikke ligge noen rester fra den tidligere plattformen på denne lokaliteten noe som kan indikere at båten hadde avdrift under innsamlingen av prøver på stasjonen.

Geografiske posisjoner for alle stasjonene i Region II er gitt i feltrapporten. Dypet varierer fra omtrent 70 m i sør til 125 m i Balderområdet. Strømretningen varierer noe i regionen, i Friggområdet er reststrømsretningen i SØ retning, i Balderområdet hovedsakelig i SØ og Ø retning og i Sleipner og Vargområdet i N til NØ retning.

Mer detaljerte opplysninger er gitt i hovedrapporten.

3. Resultater, diskusjon og konklusjoner

3.1 Region II

Resultatene fra kjemiske og biologiske analyser av sediment fra de ti regionale stasjonene og tolv referansestasjoner viste, i tillegg til ulik sediment sammensetning, at Region II kunne deles inn i to underregioner; Region II-a bestående av feltene Balder, Frigg, Lille Frigg, Nordøst Frigg, Øst Frigg PSA, Øst Frigg PSB, Frøy, Heimdal, Hermod, Odin og Sleipner Vest og Region II-b bestående av feltene Sleipner Øst og Varg. Sediment sammensetningen på to av feltene i Region II-a, Balder og Hermod, skilte seg noe ut fra det som generelt ble funnet i underregionen. På disse feltene var sedimentet karakterisert av et høyere innhold av pelitt (silt og leirefraksjonene) sammenlignet med de generelle nivåene funnet i Region II-a. Forskjellen viser seg ofte i et noe forskjellig innhold av metaller i sedimentet. Det ble tatt hensyn til denne forskjellen i bakgrunnsnivå av metaller på Balder og Hermod når område som er kontaminert med utvalgte metaller ble angitt på disse feltene.

De totale hydrokarbonkonsentrasjonene som ble funnet i sedimentene på feltene i Region II, varierte fra 418 ± 76 mg/kg til konsentrasjoner godt under 10 mg/kg. De fleste målingene av hydrokarboner på feltene i Region II ble utført på stasjoner lokalisert 250, 500 og 1000 m fra petroleums installasjonene. Ved å sammenligne nivåene av hydrokarboner på disse avstandene, kunne feltene subjektivt plasseres i to grupper, en gruppe bestående av feltene Balder, Varg og Sleipner Vest og en annen gruppe bestående av de øvrige feltene i regionen. Balder og Varg hadde hydrokarbonkonsentrasjoner opp mot 300-400 mg/kg tørt sediment på minst en av de innerste stasjonene. Sleipner vest er plassert i samme gruppe som Balder og Varg, men hadde en maksimum konsentrasjon av hydrokarboner like over 100 mg/kg tørt sediment. Som forventet utfra nylig bore- og utslippshistorie på Balder, bidrar poly- α -olefiner til det totale innholdet av hydrokarboner på dette feltet. Mineral-olje ble sett i sedimentekstraktene fra flere stasjoner på Sleipner Vest og Varg selv om det ikke har vært planlagt utslipp av kaks forurenset med mineral-olje. De øvrige feltene i Region II hadde hydrokarboninnhold under 25 mg/kg på de innerste stasjonene. Som forventet utfra den siste bore- og utslippshistorien på Frøy-feltet, ble det funnet spor av poly- α -olefiner i flere av sedimentekstraktene. På Øst Frigg og Odin ble rester av degradert mineral-olje sett på noen av de innerste stasjonene. Det har ikke vært utslipp på Odin siden. Dette arbeidet kan ha rotet opp og forstyrret sedimentet på havbunnen. To av sedimentekstraktene fra de innerste stasjonene på Loke viste en profil som kan relateres til tidligere petroleumsaktivitet.

De høyeste konsentrasjonene av barium (verdier over 2000 mg/kg) ble funnet på to av feltene som hadde høyest nivå av hydrokarboner; Balder og Sleipner Vest. For de øvrige feltene i Region II, synes det ikke å være noen direkte korrelasjon mellom fordelingen av barium og grupperingen av felt basert på resultatene fra hydrokarbon analysene. For alle feltene i Region II ble hydrokarbon- og bariuminnhold langs de forskjellige felt-aksene sammenlignet med hovedstrømsretningen i området. Tre av feltene, Balder, Varg og Sleipner Vest, skilte seg ut ved å ha de høyeste mengdene av hydrokarboner og barium i hovedstrømsretningen (henholdsvis NV, NØ og NØ fra installasjonen). På de øvrige feltene ble det ikke funnet noen slik sammenheng mellom hydrokarboner og barium og hovedstrømsretning.

Sediment fra feltene Frøy, Balder og Sleipner Øst ble analysert for spor av syntetiske borevæsker. Påvisbare mengder av Ultidrill ble funnet i noen av de innerste stasjonene på Frøy-feltet. Den høyeste konsentrasjonen som ble funnet var 7 mg/kg. På Balder har borevæsken Anco TecB blitt sluppet ut, og rester av denne borevæsken ble funnet på de fleste stasjonene på feltet. Verdier over 100 mg/kg ble funnet på minst en av stasjonene rundt hver brønn. På Balder har de forhøyede nivåene av hydrokarboner, angitt som THC, direkte sammenheng med innhold av Anco TecB i sedimentet. Konsentrasjonene av Anco TecB avtok i hovedsak raskt med økende avstand fra bore-stedet. Sediment fra Loke og SLA ble

analysert for innhold av den ester-baserte borevæsken Petrofree. Det ble generelt funnet lave mengder av Petrofree på begge feltene. De fleste konsentrasjonene var såvidt over deteksjonsgrensen. Den største mengden ester (13 mg/kg) ble funnet på en av stasjonene nær templatet på Loke. Nivåene av ester rundt SLA er lave utfra hva man kunne forvente fra de rapporterte utslippene på feltet. Sediment fra Sleipner Vest ble analysert med hensyn på innhold av DFE-622, benyttet i vannbasert slam, men DFE-622 ble ikke påvist i noen av prøvene.

Faunaen i Region II har, med noen få unntak, høy diversitet og funnet å være i en uforstyrret tilstand. De uni- og multivariate statistiske analysene som ble utført med de biologiske data indikerte tildels store variasjoner blant de ti regionale og 12 referansestasjonene. På grunnlaget av den lave diversiteten, høye dominansen, isoleringen i de multivariate analysene og tilstedeværelsen av store populasjoner av små børstemark, ble regional stasjon 2 vurdert å være noe anriket og derfor plassert i en mellomstilling mellom faunagruppe B og C (uforstyrrete til lett forstyrrete populasjoner). Imidlertid var ingen av de målte miljøvariablene på denne stasjonen forskjellig fra de andre regionale og referansestasjonene og dermed ikke relatert til aktivitetene på feltene i regionen. Dette tyder på at faunaen er påvirket av andre uidentifiserbare næringskilder på denne stasjonen.

Selv om de andre regionale og referansestasjonene er definert å være i faunagruppe A (uforstyrret) betyr det ikke at de har likheter i populasjonene. Stasjonsdyp, antall taxa og totalt individantall så vel som individantall hos enkeltarter på referansestasjonene på Sleipner Øst og Varg og regional stasjon 6er svært forskjellig fra de andre stasjonene i regionen. Antall taxa og individantall på de regionale- og referansestasjonene varierte fra henholdsvis 67 (Sleipner Øst) til 158 (reg. st. 10 og Heimdal) og fra 402 (Varg) til 2744 (reg. st. 2). Også kornstørrelsen varierte mye i regionen med lavest pelittinnhold (silt og leire) registrert i Sleipner Øst/Varg området (referanseverdier 0,8 - 1,4 %) og de høyeste i Hermod/Balder området (referanseverdier 13,3 - 13,8 %).

De multivariate analysene tydet også på at faunasammensetningen i Sleipner Øst/Varg området var svært forskjellig og av den grunn ble data fra dette området hovedsakelig holdt utenfor i de statistiske sammenligningene av regionale data og felldata. På denne måten ble eventuelle forskjeller mellom feltrelaterte og regionale effekter minimalisert. De andre referanse- og regionale stasjonene hadde større biologisk likhet selv om de kanoniske korrepondanseanalysene ordnet dem i forhold til forskjellige nivåer av bly, sink og fin sand.

Tre felt, Odin, Frøy og Heimdal, hadde stasjoner i den moderat forstyrrete faunagruppen (gruppe C). I tillegg hadde fire felt, Lille Frigg, Øst Frigg, Balder og Sleipner Øst, stasjoner i den lett forstyrrete faunagruppen (gruppe B), mens fem felt, Nordøst Frigg, Frigg, Hermod, Sleipner Vest og Varg kun hadde stasjoner i den uforstyrrete faunagruppen (gruppe A). Av de 182 stasjonene som ble undersøkt i regionen var 155 (85 %) i gruppe A, 23 (13 %) i gruppe B, 4 (2 %) i gruppe C og ingen i den sterkt forstyrrete faunagruppen C. Gruppe C fauna ble registrert i 100 - 250 m avstand fra de respektive installasjonene. Utbredelsen av disse faunagruppene på de forskjellige feltene er gitt i de respektive resultatkapitlene.

3.2 Regionale- og referansestasjoner

Totalt hydrokarboninnhold i sediment fra de regionale stasjonene og referansestasjonene i Region II varierte fra 2 til 8 mg/kg tørt sediment. Det eneste unntaket var referansestasjonen på Balder som hadde et hydrokarboninnhold på 11 mg/kg tørt sediment. Stasjonsdypene på regional stasjon 6 og referansestasjonene på Sleipner Øst og Varg er 71-86 m, mens dypene på de øvrige regionale stasjonene og referansestasjonene varierte fra 98 til 123 m. Som for regional stasjon 6 er sedimentet på referansestasjonene til Sleipner Øst og Varg karakterisert ved lavt innhold av pelitt (silt og leire) (<1%), THC (<5 mg/kg) og barium (6-24 mg/kg). Utfra bakgrunnsnivåene som ble funnet ved de kjemiske analysene, kan det synes fornuftig å dele regionen inn i to underregioner; Region II-a bestående av referansestasjonene på Balder,

Frigg, Lille Frigg, Nord Øst Frigg, Øst Frigg PSA, Øst Frigg PSB, Frøy, Heimdal, Hermod og Odin og Region II-b bestående av regional stasjon 6 samt referansestasjonene på Sleipner Øst og Varg. To av feltene i Region II-a, Balder og Hermod, hadde et høyere innhold av pelite i sedimentet enn det som generelt ble funnet Region II-a. Denne forskjellen gjenspeiles ved at sedimentet har et annet innhold av metaller. Det ble tatt hensyn til disse forskjellene i bakgrunnsnivå for metaller på Balder og Hermod når forurenset areal ble angitt.

Faunaen i Region II har, med noen få unntak, høy diversitet og funnet å være i en uforstyrret tilstand. De uni- og multivariate statistiske analysene som ble utført med de biologiske data indikerte tildels store variasjoner blant de ti regionale og 12 referansestasjonene. På grunnlaget av den lave diversiteten, høye dominansen, isoleringen i de multivariate analysene og tilstedeværelsen av store populasjoner av små børstemark, ble regional stasjon 2 vurdert å være noe anriket og derfor plassert i en mellomstilling mellom faunagruppe B og C (uforstyrrede til lett forstyrrede populasjoner). Imidlertid var ingen av de målte miljøvariablene på denne stasjonen forskjellig fra de andre regionale og referansestasjonene og dermed ikke relatert til aktivitetene på feltene i regionen. Dette tyder på at faunaen er påvirket av andre uidentifiserbare næringskilder på denne stasjonen. CCA resultatene tydet på at forskjellene mellom de andre regionale og referansestasjonene representerte en naturlig variasjon i sedimentstrukturen i regionen.

3.3 Varg

Denne undersøkelsen på Varg er en grunnlagsundersøkelse.

Arealet som er signifikant kontaminert med hensyn på hydrokarboner rekker ut til 1000 m på 20°-aksen og ut til 500 m på 200°, 245°- og 335°-aksene (stasjonene 8, 9, 10, 11, 12, 15 og 16). Hydrokarboninnholdet varierte fra 12 til 75 mg/kg, på stasjonene 8, 11, 12, 15 og 16, mens mengden av hydrokarboner på stasjon 9 og 10 var over 100 mg/kg tørt sediment. Gasskromatogrammene fra flere stasjoner indikerte innhold av mineral-olje, selv om det ikke har vært rapportert utslipp av baseolje. Forhøyet innhold av Ba ble funnet ut til 250 m på 20°- og 200°-aksene (stasjon 10 og 11). Det høyeste innholdet av THC og Ba (se tabell nedenfor) ble funnet på stasjon 10 (250 m, 20°). Ved å sammenligne THC og metallnivåene langs de fire aksene, kan man se at det er stasjonene på 20°-aksen (hovedstrømsretningen) som har høyest innhold av komponentene.

De forskjellige statistiske analysene som ble utført på faunistiske data fra Vargfeltet indikerte at alle undersøkte stasjoner faller i den uforstyrrede kategorien, Gruppe A. Forskjellen mellom stasjonene (eller grupper av stasjoner) som fremkom i de multivariate analysene, ansees å være et resultat av naturlig variasjon i sedimentet og ikke som følge av feltaktiviteten, selv om forhøyede verdier av THC og barium ble registrert på enkelte stasjoner nær sentrum. CCA resultatene støtter denne konklusjonen. Minimum- og maksimumverdiene for noen av parametrene, sammen med referanseverdien på Varg, 1997, er vist i Tabell 1.

Tabell 1: Minimum- og maksimumsverdier for noen av parametrene, sammen med referanseverdien på Varg, 1997.

Parameter	Min. verdi	Stasjon	Maks. verdi	Stasjon	Referansestasjon
% pelitt	0,4	1, 4	2,2	15	1,4
% TOM	0,58	20	0,82	10	0,93
THC (mg/kg)	1,2 ± 0,6	FPU 19	362 ± 140	10	3,4 ± 1,3
NPD * (µg/kg)	5 ± 2	7	258 ± 66	10	17 ± 4
3-6 ring PAH * (µg/kg)	22 ± 1	7	37 ± 11	10	55 ± 18
Dekaliner * (µg/kg)	48 ± 18	7	60700 ± 33619	10	50 ± 10
Barium (mg/kg)	11 ± 1	1	175 ± 59	10	23 ± 3
Ant. taxa	54	9	85	1	71
Ant. ind.	235	9	559	FPU 19	402
Diversitet (H')	4,7	2	5,5	1	5,1

*) Analysert på to stasjoner.

3.4 Sleipner Øst

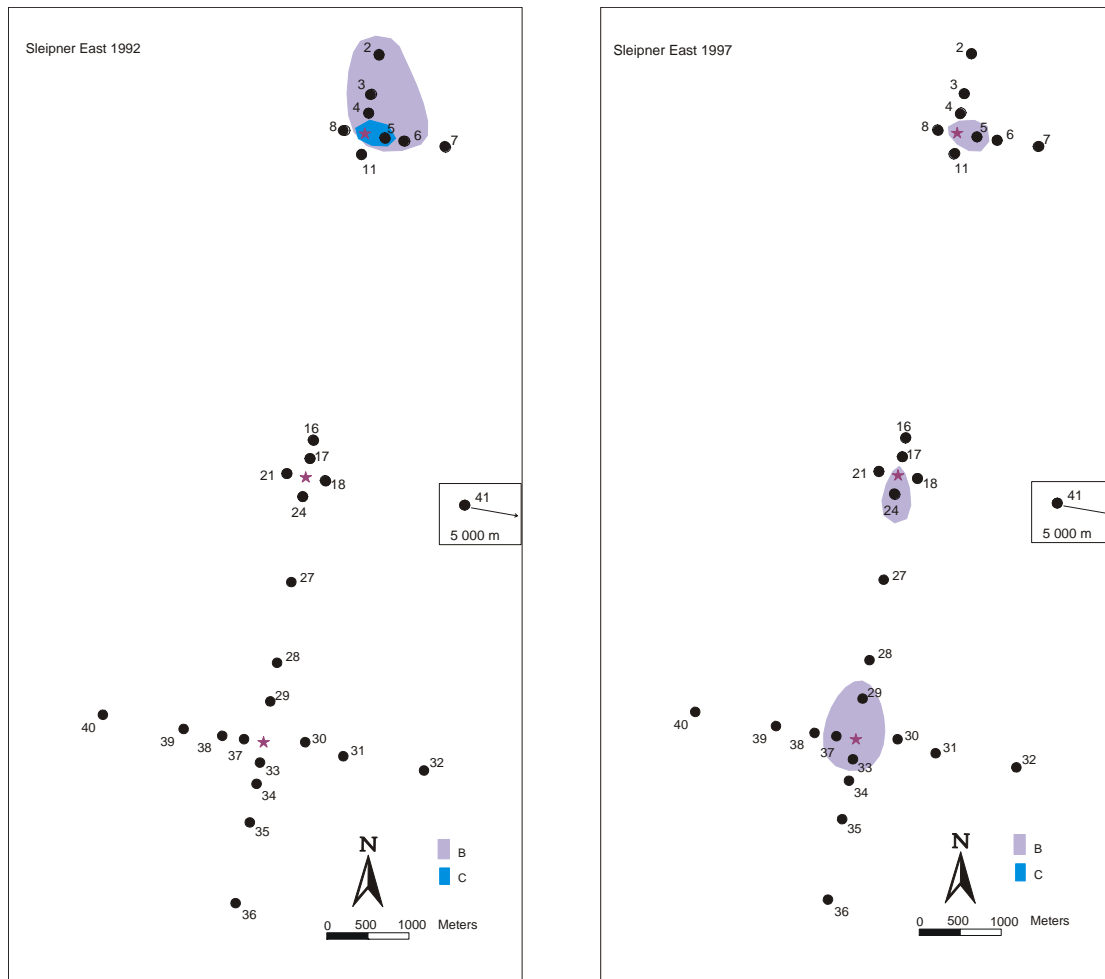
Sleipner Østfeltet inkluderer Sleipner A plattformen og bunnrammene Loke og SLØ.

De høyeste konsentrasjonene av hydrokarboner (10-15 mg/kg) og barium (998-1130 mg/kg) ble funnet på stasjonene L5 og SLE24. I år ble L5 og SLE24 funnet kontaminert med hydrokarboner, kadmium, bly, sink og kobber, mens de øvrige stasjonene ble funnet å være kontaminert med barium. De samme stasjonene ble også vurdert som kontaminert med barium i 1993 og 1994 undersøkelsene. Ingen av stasjonene i 1993-SLØ og 1994-SLA undersøkelsene ble ansett å være signifikant kontaminert med hydrokarboner. I undersøkelsen på Loke i 1993 ble stasjonene L2, L3, L4, L5, L6 i tillegg til stasjonen 1000 m/280° vurdert som kontaminert med hensyn på hydrokarboner.

Sammenlignet med resultatene fra 1993/1994, er innholdet av hydrokarboner og utvalgte metaller nesten uforandret eller redusert. Det eneste unntaket er SLØ24 hvor hydrokarbon, barium, kobber og sink konsentrasjonene hadde økt. På L5, er hydrokarbon- og barium-konsentrasjonene redusert med henholdsvis 130 og 1200 mg/kg tørt sediment.

Sediment fra utvalgte stasjoner rundt Loke og SLA ble analysert for innhold av ester-basert boreslam Petrofree. Selv om det ikke har vært utslipp på Loke de siste år, ble det høyeste innholdet av ester (13 ± 14 mg/kg) funnet på L5. Nivåene på de øvrige stasjonene varierte fra 0.01 to 0.08 mg/kg.

På bakgrunn av de forskjellige statistiske analysene som ble utført på faunistiske data fra Sleipner Øst ble to stasjonsgrupperinger definert som følger : faunagruppe B (lett forstyrret) inneholdt L5, SLØ24 og SLA 29, 33 og 37, mens de resterende stasjonene, der faunaanalyser ble utført, er plassert i Gruppe A (uforstyrret). Alle stasjonene i Gruppe B ligger på 250 - 500 m avstand fra de respektive installasjonene. Utbredelsen av disse gruppene på feltet er vist i Figur 2. Denne viser at utstrekningen av faunaeffekter har minket på Loke mens en økning i effekter er observert rundt SLØ og SLA.



Figur 2: Utbredelsen av faunagrupper på Sleipner Øst, 1997 og foregående undersøkelse.

CCA resultatene viser at 41 % av den biologiske variasjonen er forklart av de fire miljøvariablene TOM, kadmium, sink og stasjonsdyp, mens de andre variablene som ble brukt, inklusiv de andre metallene, THC og kornstørrelse, ikke var signifikante. Dette indikerer at gradienten av miljøendring utover fra installasjonene er påvirket av generelle forstyrrelseseffekter istedefor sterk kontaminering. Effektene er imidlertid sterke nok til å påvirke fordelingen av organismene i området rundt installasjonene.

Minimum- og maksimumverdiene for noen av parameterene, sammen med referanseverdien fra Sleipner Øst er vist i Tabell 2.

Tabell 2: Minimum- og maksimumsverdier for noen av parametrene, sammen med referanseverdien på Sleipner Øst, 1997.

Parameter	Min. verdi	Stasjon	Maks. verdi	Stasjon	Referansestasjon
% pelitt	1,0	L2	2,9	SLE24	0,8
% TOM	0,59	SLA38	1,84	SLE24	0,64
THC (mg/kg)	1,1 ± 0,5	SLA30	14,6 ± 0,5	SLE 24	2,0 ± 0,9
Petrofree (mg/kg)	0,01 ± 0	SLA30	13 ± 14	L5	**
NPD * (µg/kg)	9 ± 3	SLA 28	31 ± 20	L4	4 ± 1
3-6 ring PAH * (µg/kg)	26 ± 4	SLA28	59 ± 20	L4	20 ± 1
Dekaliner * (µg/kg)	32 ± 4	SLE17	101 ± 54	SLA29	33 ± 10
Barium (mg/kg)	37 ± 7	L7	1130 ± 378	L5	16 ± 3
Ant. taxa	65	SLA39	115	SLE24	67
Ant. ind.	431	SLA30	1202	SLA33	453
Diversitet (H')	3,9	SLA33	5,3	L4	4,9

*) Analysert på fire stasjoner: L4, SLE17, SLA28 and SLA29.

**) Ikke analysert.

3.5 Sleipner Vest

Arealet som er signifikant kontaminert med hydrokarboner rekker ut til henholdsvis 1000, 500, 500 og 250 meter på 10°-, 190°-, 280°- og 100°-aksene (stasjon 1, 2, 3, 6, 10, 11 og 15). På disse stasjonene varierte hydrokarboninnholdet fra 12 til 131 mg/kg tørt sediment. Hele området som er undersøkt ble funnet å være kontaminert med hensyn på barium, kadmium og sink. I basisundersøkelsen i 1994, ble ingen av stasjonene vurdert som kontaminert med hydrokarboner eller metallene som ble analysert. Sediment fra utvalgte stasjoner ble i år analysert med hensyn å spor av DFE-622 som benyttes i vannbasert slam, men DFE-622 ble ikke detektert i noen av prøvene.

Sammenlignet med resultatene fra 1994, har nivåene av hydrokarboner og barium økt på Sleipner Vest. De største økningene ble funnet i hovedstrømsretningen (10°-aksen).

De forskjellige statistiske analysene som ble utført på de faunistiske data fra Sleipner Vest indikerer at alle undersøkte stasjoner faller i den uforstyrrede kategorien, Gruppe A. Forskjellene mellom stasjonene (eller grupper av stasjoner) som fremkommer i de multivariate analysene ansees å være et resultat av naturlig variasjon og ikke relatert til feltaktiviteten, selv om forhøyede verdier av THC og barium er registrert på enkelte stasjoner. Resultatene fra CCA og andre multivariate analyser indikerer at forskjellen mellom stasjonene på Sleipner Vest er mindre enn variasjonen mellom de enkelte referanse og regionale stasjoner og at det, så langt, ikke er merkbare effekter på faunautbredelsen på feltet som kan sees i sammenheng med aktiviteten på feltet.

Minimum- og maksimumverdiene for noen av parameterene, sammen med referanseverdien fra Sleipner Vest, 1997, er vist i Tabell 3.

Tabell 3: Minimum- og maksimumsverdier for noen av parametrene, sammen med referanseverdien på Sleipner Vest, 1997.

Parameter	Min. verdi	Stasjon	Maks. verdi	Stasjon	Referansestasjon
% pelitt	7,1	10	10,9	15	0,8
% TOM	1,6	7	2,3	10	0,64
THC (mg/kg)	7,3 ± 0,4	12	131 ± 93	10	2,0 ± 0,9
NPD * (µg/kg)	35 ± 4	12	166 ± 122	10	4 ± 1
3-6 ring PAH * (µg/kg)	115 ± 29	10	119 ± 12	12	20 ± 1
Dekaliner * (µg/kg)	153 ± 38	12	9865 ± 7531	10	33 ± 10
Barium (mg/kg)	402 ± 18	8	2480 ± 151	15	16 ± 3
Ant. taxa	132	15	152	10	67
Ant. ind.	1097	12	1765	1	453
Diversitet (H')	4,7	17	5,7	12	4,9

*) Analysert på to stasjoner.

3.6 Hermod

Denne undersøkelsen på Hermod er en grunnlagsundersøkelse.

Hydrokarbon-nivået på Hermod-feltet er generelt sammenlignbart med hydrokarboninnholdet på referansestasjonen (8 mg/kg). Bare stasjonene 4 (500 m/110°) og 11 (250 m/200°) hadde forhøyet innhold av hydrokarboner (12-15 mg/kg). Arealet som er kontaminert med barium rekker ut mot 250 m på 290°-aksen og ut til 500 m på 20°- og 200°-aksene (stasjon 3, 9, 10, 11 og 12). Innholdet av de andre metallene varierte fra konsentrasjoner under til konsentrasjoner såvidt over de som ble funnet på referansestasjonen til Hermod.

De forskjellige statistiske analysene som er utført på de faunistiske data fra Hermodfeltet indikerer at alle undersøkte stasjoner, inklusiv referansestasjonen, faller i den uforstyrrede kategorien, Gruppe A. De har høy diversitet og forholdsvis lav individtetthet og artsdominans. Resultatene fra CCA viser at 39 % av den biologiske variasjonen er forklart ved de fire miljøparametrene stasjonsdyp, bly, pelitt og fin sand, mens de andre variablene, inklusiv de andre metallene og THC, ikke var signifikante. Dette indikerer at naturlige miljøfaktorer, som sannsynligvis har sammenheng med små endringer i sedimentsammensetningen, er de viktigste årsakene til utbredelsen av organismer i innsamlingsområdet.

Minimum- og maksimumverdiene for noen av parameterene, sammen med referanseverdien fra Hermod, 1997, er vist i Tabell 4.

Tabell 4: Minimum- og maksimumsverdier for noen av parametrene, sammen med referanseverdien på Hermod, 1997.

Parameter	Min. verdi	Stasjon	Maks. verdi	Stasjon	Referansestasjon
% pelitt	7,2	6	10,7	12	13,8
% TOM	1,76	9	2,40	4	2,12
THC (mg/kg)	5,9 ± 0,2	8	15 ± 6	11	7,7 ± 1,2
NPD * (µg/kg)	35 ± 9	8	43 ± 8	10	31 ± 7
3-6 ring PAH * (µg/kg)	146 ± 18	8	171 ± 26	10	145 ± 34
Dekaliner * (µg/kg)	112 ± 29	8	124 ± 13	10	93 ± 1
Barium (mg/kg)	82 ± 16	6	1117 ± 6	11	114 ± 30
Ant. taxa	115	9	131	6	133
Ant. ind.	953	2	1417	6	1338
Diversitet (H')	5,2	4, 5, 7, 9, 13	5,5	1, 3, 6, 10	5,6

*) Analysert på to stasjoner.

3.7 Balder

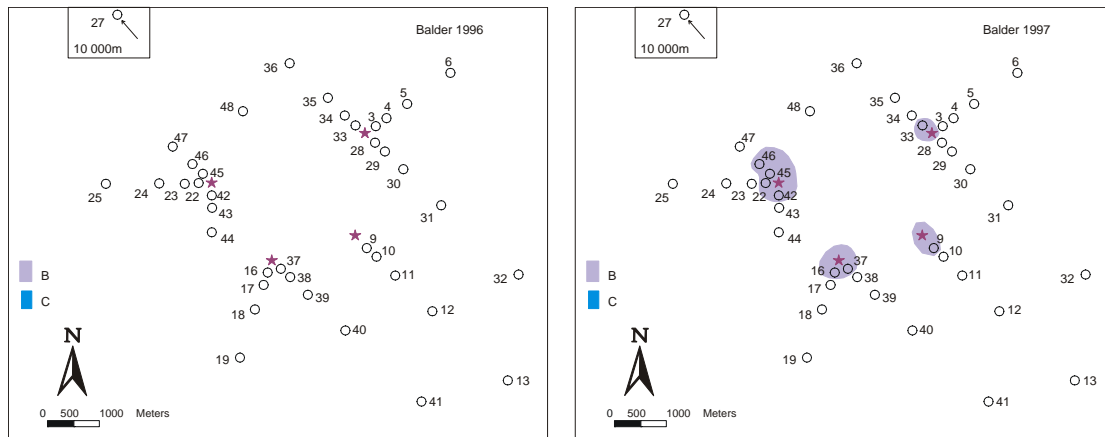
Det generelle bildet av Balder-feltet er at alle stasjonene plassert rundt templatene B og D, med unntak av stasjon 12, er kontaminert med hydrokarboner. 250-500 m stasjonene på de samme aksene er kontaminert med barium. Fra templat A ble stasjoner kontaminert med hydrokarboner funnet ut til 500 m, mens stasjoner kontaminert med barium ble funnet ut til 1000 m. Fra templat C rekker området som er kontaminert med hydrokarboner og barium ut til 500 m på 198°-aksen og ut til 1000 m på 135°-aksen.

Hydrokarbonkonsentrasjoner over 100 mg/kg tørt sediment ble funnet på åtte stasjoner (stasjon 9, 16, 22, 33, 34, 37, 42 og 45), noe som er forårsaket av utslipp av kaks som inneholder poly- α -olefiner (Anco TecB). Alle disse stasjonene er lokalisert 250-500 m fra deres respektive utslippspunkt.

Siden 1996 har innhold av hydrokarboner og barium økt på 250-500 m stasjonene langs A54°, B135°, C198° og D270°-aksene. Ingen av stasjonene i basisundersøkelsen i 1996 ble karakterisert som kontaminert med hensyn på hydrokarboner, mens barium innholdet på de to innerste stasjonene på B135°-aksen var signifikant høyere enn referansenivået.

På bakgrunn av de forskjellige statistiske analysene som ble utført på data fra Balder ble to stasjonsgrupper definert som følger: faunagruppe B (lett forstyrret) som inneholdt stasjonene 9, 16, 22, 33, 37, 42, 45 og 46 mens resten av stasjonene ansees som uforstyrret (Gruppe A). Utbredelsen av disse gruppene på feltet er vist i Figur 3. Ingen av stasjonene ble funnet å være forstyrret i undersøkelsen i 1996. Alle stasjonene i Gruppe B er lokalisert i 250 - 500 m avstand fra de respektive brønnrammene. Stasjonene i gruppe B har forholdsvis høyt individantall av opportunistiske børstemarkere.

CCA resultatene viste at 36 % av den biologiske variasjonen ble forklart ved de fire miljøvariablene stasjonsdyp, sink, barium, pelitt og fin sand, mens de andre variablene som ble brukt, inklusiv TOM, THC og de andre metallene, ikke var signifikant. Antall individ og taxa og faunadiversiteten har økt på de fleste stasjonene som ble undersøkt begge årene.



Figur 3: Utbredelsen av faunagrupper på Balder, 1997 og foregående undersøkelse.

Minimum- og maksimumverdiene for noen av parameterene, sammen med referanseverdien fra Balder, 1997 er vist i Tabell 5.

Tabell 5: Minimum- og maksimumsverdier for noen av parametrene, sammen med referanseverdien på Balder, 1997.

Parameter	Min. verdi	Stasjon	Maks. verdi	Stasjon	Referansestasjon
% pelitt	9,3	32	14,5	42	13,3
% TOM	0,85	37	3,88	45	1,26
THC (mg/kg)	3,6 ± 1,9	6	418 ± 76	16	
Anco TecB (mg/kg)	465 ± 82	6	<0,5	5,6,13, 18,44,48	<0,5
NPD * (µg/kg)	29 ± 4	12	453 ± 267	9	39 ± 2
3-6 ring PAH * (µg/kg)	132 ± 31	12	259 ± 92	9	127 ± 1
Dekaliner * (µg/kg)	69 ± 40	28	1644 ± 996	9	152 ± 58
Barium (mg/kg)	116 ± 28	18	2053 ± 1120	16	104 ± 17
Ant. taxa	84	16	136	30	112
Ant. ind.	531	42	1395	40	781
Diversitet (H')	4,4	33	5,9	23	5,8

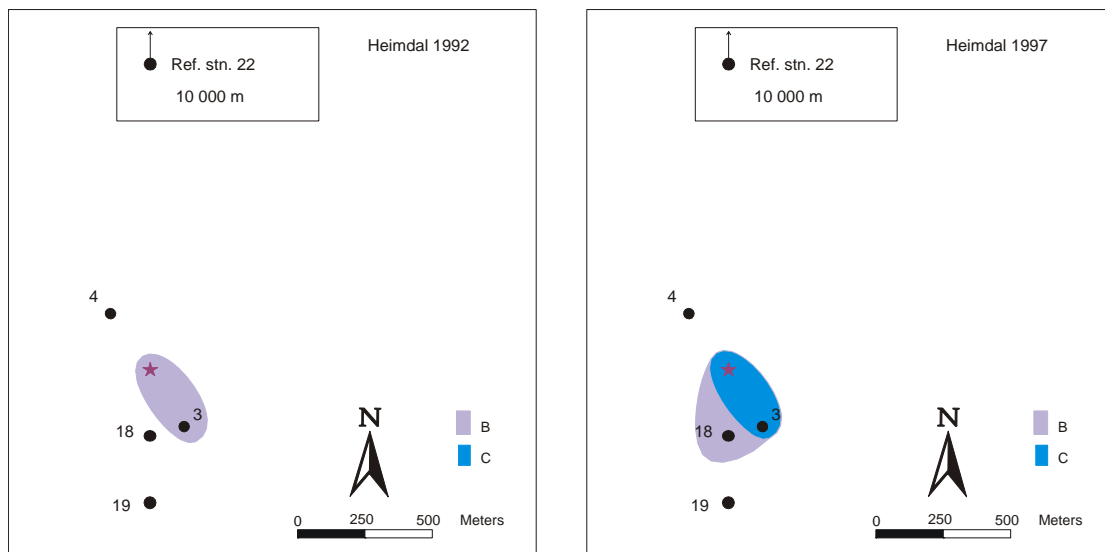
*) Analysert på fire stasjoner: 9, 12, 28 and 31.

3.8 Heimdal

Nivået av hydrokarboner er jevnt fordelt over stasjonene på Heimdal. Hydrokarbonkonsentrasjonene varierte fra 14 ± 5 til 18 ± 8 mg/kg tørt sediment. Det store standard avviket knyttet til hydrokarbonverdiene skyldes stor forskjell mellom replikatene, men på hver stasjon hadde minst en av sedimentprøvene et hydrokarboninnhold som var sammenlignbart med hydrokarbon-nivået på referansestasjonen (9 mg/kg). Profilene av gass-kromatogrammene av sedimentekstraktene viste ingen indikasjoner på innhold av oljerelaterte hydrokarboner. Ut fra grensen for signifikant kontaminering av hydrokarboner kalkulert for Region II-a, kan alle stasjonene karakteriseres som kontaminert med hydrokarboner. Men sammenlignet med hydrokarboninnholdet på referansestasjonen til feltet, er stasjon 4 ($180^\circ/250$ m) den eneste stasjonen som er signifikant kontaminert med hydrokarboner. I 1992 rakk området som var signifikant kontaminert med hydrokarboner ut til 250 m/ 150° , 1000 m/ 330° og 500 m/ 180° . Innholdet av barium varierer fra 565 mg/kg til 290 mg/kg tørt sediment. Alle stasjonene som ble undersøkt i år ble funnet å være kontaminert med barium. Til sammenligning ble bare de fire 250 m stasjonene vurdert som kontaminert med barium i 1992.

Sammenlignet med resultatene fra 1992, har innholdet av THC økt på alle stasjonene på Heimdal som også er inkludert i årets undersøkelse. Dersom man sammenligner mot årets relativt høye verdier på referansestasjonen til feltet, er derimot situasjonen med hensyn på hydrokarboner så og si uforandret siden 1992. Innholdet av barium har gått ned sammenlignet med 1992.

På bakgrunn av de forskjellige statistiske analysene som ble utført på de faunistiske data fra Heimdal feltet ble tre stasjonsgrupper definert som følger: faunagruppe A (uforstyrret) som inneholdt stasjon 4, 19 og referansestasjonen, gruppe B (lett forstyrret) som inneholdt stasjon 8 og gruppe C (moderat forstyrret) som inneholdt stasjon 3. Utbredelsen av disse gruppene på feltet er vist i Figur 4. CCA resultatene viste at 24 % av den biologiske variasjon var forklart ved de tre miljøvariablene sink, barium og pelitt, mens de andre variablene som ble brukt, inklusiv de andre metallene, THC og TOM, ikke var signifikant.



Figur 4: Utbredelsen av faunagrupper på Heimdal, 1997 og foregående undersøkelse.

Det har vært en stor minking i populasjonen av bunnfaunaen på alle stasjoner siden den forrige biologiske undersøkelsen i området i 1992. Det gjennomsnittlige antall individ pr. stasjon (eksklusiv referansestasjonen) har minket med 36 % (21 % på referansestasjonen) mens det gjennomsnittlige antall taxa er likt i de to undersøkelsene. En sammenligning av populasjonsendringer på enkeltstasjoner siden 1992 undersøkelsen indikerer at det har vært en markert endring i forholdene i området i perioden, spesielt på stasjon 3 plassert 250 m SØ av sentrum. På denne stasjonen, definert som faunagruppe B (lett forstyrret) i 1992, var populasjonen nå mer karakteristisk for den moderat forstyrrete gruppe C. En stor økning i populasjonene av opportunistiske børstemarkar har funnet sted på denne stasjonen. Det bør merkes at det gjennomsnittlige nivå av metallene generelt er lavere på gruppe B og C stasjoner i 1997 enn det som ble registrert i 1992, mens THC-nivåene er høyere.

Minimum- og maksimumverdiene for noen av parameterene, sammen med referanseverdien fra Heimdal, 1997, er vist i Tabell 6.

Tabell 6: Minimum- og maksimumsverdier for noen av parametrene, sammen med referanseverdien på Heimdal, 1997.

Parameter	Min. verdi	Stasjon	Maks. verdi	Stasjon	Referansestasjon
% pelitt	6,9	3	10,1	4	9,7
% TOM	1,31	18	1,61	19	1,81
THC (mg/kg)	14 ± 5	19	18 ± 8	4	9,1 ± 2,6
NPD * (µg/kg)	29 ± 5	3	*	*	22 ± 6
3-6 ring PAH * (µg/kg)	107 ± 12	3	*	*	85 ± 38
Dekaliner * (µg/kg)	125 ± 12	3	*	*	158 ± 63
Barium (mg/kg)	292 ± 41	3	565 ± 139	4	90 ± 21
Ant. taxa	147	3	173	18	158
Ant. ind.	1324	3	2017	18	1608
Diversitet (H')	5,6	4	5,9	18, 19	6,1

*) Analysert på en stasjon.

3.9 Frøy

På Frøy-feltet varierte totalt hydrokarboninnhold fra 7 til 20 mg/kg tørt sediment. Gjennomsnittlig hydrokarbonkonsentrasjon på 250 m stasjonene (stasjon 4, 5, 13 og 14) var ca. 15 mg/kg tørt sediment. Den syntetiske basevæsken Ultidrill bidrar til den totale mengden av hydrokarboner på alle 250 m stasjonene og på 500 m stasjonene på 150°- og 240°-transektene. Den høyeste konsentrasjonen av Ultidrill (7.4 ± 6.9 mg/kg) ble funnet på stasjon 4, hvor ett av replikatene hadde et innhold av Ultidrill på over 15 mg/kg. De høyeste konsentrasjonene av barium (1048 ± 319 mg/kg) ble funnet i sediment fra stasjon 4. På de øvrige stasjonene varierte bariuminnholdet fra 300 - 700 mg/kg tørt sediment.

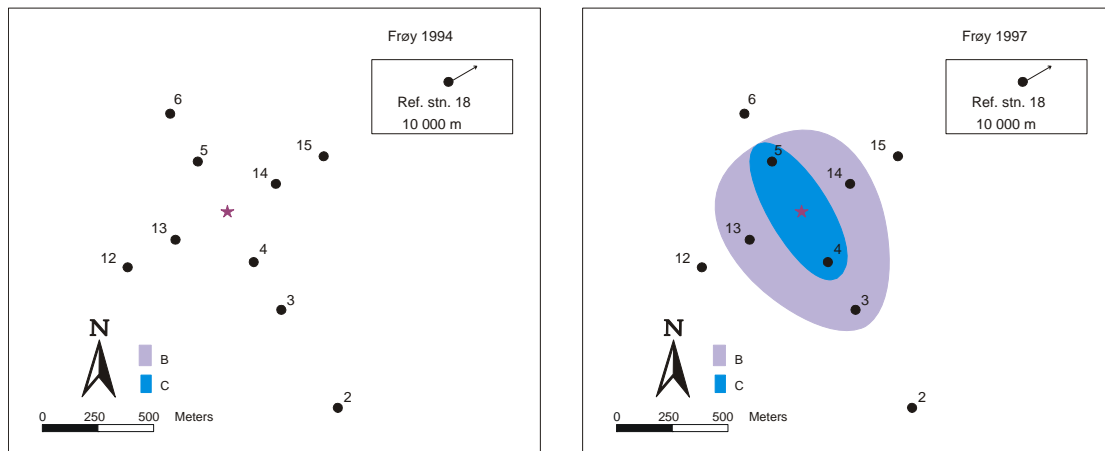
I år rekker området som er signifikant kontaminert med hydrokarboner ut til 500 m på 60°-aksen og ut til 250 m på 150°-, 330°- og 240°-aksene (stasjon 4, 5, 13, 14 og 15), mens alle de undersøkte stasjonene er kontaminert med barium. De samme stasjonene ble også i 1994 vurdert som kontaminert med hensyn på barium. I 1994 var det bare stasjon 3, 4 og 5 som ble karakterisert som kontaminert med hydrokarboner.

Sammenlignet med 1994-resultatene har nivået av hydrokarboner økt på hele Frøy-feltet. De største økningene ble funnet på stasjon 13, 14 og 15 hvor hydrokarboninnholdet hadde økt med 10-15 mg/kg siden 1994. Innholdet av barium er uforandret eller noe redusert sammenlignet med 1994.

På bakgrunn av de forskjellige statistiske analysene som ble utført på de faunistiske data fra Frøyfeltet ble tre stasjonsgrupper definert som følger: faunagruppe A (uforstyrret) som inneholdt stasjon 2, 6, 12, 15 og referansestasjonen, gruppe B (lett forstyrret) som inneholdt stasjon 3, 13 og 14 og gruppe C (moderat forstyrret) som inneholdt stasjon 4 og 5. Utbredelsen av disse gruppene over feltet er vist i Figur 5.

CCA resultatene viste at 39,4 % av den biologiske variasjonen ble forklart ved de fire miljøvariablene stasjonsdyp, bly, sink og barium, mens de andre variablene som ble brukt, inklusiv ne andre metallene, THC, kornstørrelse og TOM, ikke var signifikant. CCA resultatene fra analysen av feltstasjonene der mengden av Ultidrill i sedimentet var inkludert, viste at 47,7 % av den biologiske variansen ble forklart ved de to miljøvariablene Ultidrill og fin sand, mens de andre variablene ikke var signifikant. Førsteaksen hadde en sterk signifikant positiv sammenheng med konsentrasjonen av Ultidrill i sedimentet og stasjon 3, 4, 5, 13 og

14 ble plassert på den positive enden av denne aksen (stasjon 4 med den høyeste og stasjon 3 med den laveste positive verdien) og er derfor positivt korrelert med Ultidrill-nivåene. Det ser dermed ut til at den forstyrrede faunaen som ble funnet på disse stasjonene, er et resultat av en anrikning som har sammenheng med tilførsel av Ultidrill til sedimentene.



Figur 5: Utbredelsen av faunagrupper på Frøy, 1997 og foregående undersøkelse.

Minimum- og maksimumverdiene for noen av parameterene, sammen med referanseverdien fra Frøy, 1997, er vist i Tabell 7.

Tabell 7: Minimum- og maksimumsverdier for noen av parametrene, sammen med referanseverdien på Frøy, 1997.

Parameter	Min. verdi	Stasjon	Maks. verdi	Stasjon	Referansestasjon
% pelitt	5,0	12	9,3	2	6,5
% TOM	1,07	12	1,69	2	1,49
THC (mg/kg)	7,3 ± 1,0	6	19 ± 8	14	5,2 ± 1,4
Ultidrill (mg/kg)	<0,5	2,6,15	7,4 ± 6,9	4	<0,5
NPD * (µg/kg)	41 ± 8	2	100 ± 23	4	26 ± 9
3-6 ring PAH * (µg/kg)	69 ± 17	4	95 ± 13	2	61 ± 7
Dekaliner * (µg/kg)	88 ± 8	2	116 ± 68	4	77 ± 15
Barium (mg/kg)	313 ± 36	12	1048 ± 319	4	76 ± 14
Ant. taxa	138	6	158	3, 14	155
Ant. ind.	1209	6	3067	4	1792
Diversitet (H')	4,4	4	6,2	12	5,8

*) Analysert på to stasjoner.

Sammenligninger av populasjoneendringer på enkeltstasjonene siden 1994 undersøkelsen indikerer at det har vært en markert endring av forholdene i området i denne perioden, spesielt på stasjonene nærmest feltcenteret. På stasjonene 3, 4, 5, 13 og 14, plassert 250 m i alle retninger og 500 m SØ av sentrum og definert som faunagruppe A (uforstyrret) i 1994, var populasjonene nå mer karakteristisk for den lett til moderat forstyrrede gruppe B og C. En nedgang i populasjonen av slangestjerner og en stor økning i populasjonene av opportunistiske børstemarkar har skjedd på disse stasjonene. Også på stasjon 15 og referansestasjonen, plassert i en mellomstilling mellom gruppe A og B i 1997, har tilsvarende endringer foregått, men i en mindre grad.

3.10 Frigg

Hydrokarbonkonsentrasjonene varierte fra 10 mg/kg tørt sediment (stasjon 1) til verdier under bakgrunnsnivået (7.0 mg/kg). Ingen av stasjonene inkludert i dette års undersøkelse, ble ansett

å være signifikant kontaminert med hydrokarboner. i 1992 ble stasjoner som var signifikant kontaminert med hydrokarboner funnet ut til 500 m på 350°-aksen (stasjon 1 og 11) og ut til 200 m på 70°-aksen (stasjon 2), mens forhøyede nivå av hydrokarboner ble funnet ut til 250 m på DP2 170°- og 350°-aksene (stasjon 24 og 25). i år varierte bariumkonsentrasjonene fra 171 ± 18 mg/kg tørt sediment (stasjon 2) til verdier under bakgrunnsnivå (71 mg/kg). De høyeste konsentrasjonene av bly, sink, kobber og kadmium ble funnet på stasjonen med høyest innhold av hydrokarboner (stasjon 1). Stasjon 1 ble funnet å være kontaminert med barium, kadmium, sink, bly og kobber, stasjon 2 var kontaminert med barium, sink, bly og kobber mens de øvrige stasjonene, unntatt stasjon 27, var kontaminert med bly, sink og kobber.

I forhold til det gjennomsnittlige hydrokarboninnholdet funnet i sediment på Friggs referansestasjon i 1992 og 1997, er mengden av hydrokarboner redusert eller uforandret på Friggfeltet. Innhold av barium har gått ned på alle stasjonene unntatt stasjon 2 og 4.

De forskjellige statistiske analysene som ble utført på de faunistiske data fra Friggfeltet tydet på at det var liten forskjell i fordelingen av bunnfaunaen mellom de innsamlingsstasjonene i denne undersøkelsen. Kun stasjonene 1 - 4 nært TCP2 og TP1 skiller seg ut merkbart, med større populasjonene av filtrerende og detritusspisende børstemarkere enn andre steder. Denne forskjellen fremkommer ikke i noen tydelig forskjell i forurensningsparameterene, selv om CCA indikerer at den kan ha sammenheng med en lett grad av forurensning i området. Dette skiller ikke feltstasjonene klart fra de regionale og de andre referansestasjonene. Det er derfor ikke noen grunn til å konkludere med at noen av feltstasjonene kan skilles fra de andre stasjonene på grunn av industriell forstyrrelse. De bør derfor alle bli definert som faunagruppe A (uforstyrt) sammenlignet med andre felt og områder.

Det har vært en markert minking i populasjonen av bunnfaunaen på referansestasjonen og, i mindre grad, på feltstasjonene siden den forrige biologiske undersøkelsen i området i 1992. Antall individ har minket på de fleste stasjonene mens antall taxa har økt på noen stasjoner. Med unntak av stasjon 4 har faunadiversiteten økt på alle stasjonene. Minimum- og maksimumverdiene for noen av parameterene, sammen med referanseverdien fra Frigg, 1997, er vist i Tabell 8.

Tabell 8: Minimum- og maksimumsverdier for noen av parametrene, sammen med referanseverdien på Frigg, 1997.

Parameter	Min. verdi	Stasjon	Maks. verdi	Stasjon	Referansestasjon
% pelitt	0,49	2	1,88	11	3,92
% TOM	0,63	4, 24	0,90	1, 27	1,16
THC (mg/kg)	$4,0 \pm 1,0$	24	$9,6 \pm 0,1$	1	$6,2 \pm 1,3$
NPD * ($\mu\text{g/kg}$)	23 ± 10	2	*	*	24 ± 5
3-6 ring PAH * ($\mu\text{g/kg}$)	49 ± 25	2	*	*	48 ± 8
Dekaliner * ($\mu\text{g/kg}$)	73 ± 42	2	*	*	99 ± 25
Barium (mg/kg)	46 ± 13	3	171 ± 18	2	43 ± 5
Ant. taxa	111	1	130	4	136
Ant. ind.	945	25	2490	4	2012
Diversitet (H')	4,6	4	5,6	24	5,2

*) Analysert på en stasjon.

3.11 Øst Frigg

De største mengdene av hydrokarboner, barium, kadmium, Kobber og bly ble funnet på PSB stasjon 7 (150°, 250m). Hydrokarbonkonsentrasjoner såvidt over 10 mg/kg ble funnet på stasjonene PSA 6 (330°, 500m), og PSB 17 (240°, 250 m). Stasjonene kontaminert med hydrokarboner er PSA stasjon 6 og PSB stasjon 7 og 17. I 1991 ble noe forhøyede nivå av hydrokarboner funnet på stasjonene plassert 250 m fra både PSA og PSB. I 1991 hadde ingen av stasjonene et THC innhold over 10 mg/kg tørt sediment. Området som er kontaminert med barium rekker ut mot 500 m/330°, 250 m/150° og 60° fra PSA og 250 m/ 150° og 240° fra PSB. I 1991 rakk arealet som var kontaminert med barium ut til 500 m/330° og 150° og 250 m/60° og 240° fra PSA og 250 m/150°, 60° og 240° fra PSB.

Siden 1991 har hydrokarboninnholdet på PSB stasjon 7 økt fra 8.4 ± 1.3 til 26 ± 21 mg/kg tørt sediment. På de øvrige stasjonene er innholdet av hydrokarboner generelt uforandret sammenlignet med den forrige undersøkelsen. Mengden av barium er redusert eller relativt uforandret siden 1991. Det eneste unntaket ble funnet på stasjon PSB 7 hvor innholdet hadde økt fra 217 ± 58 til 388 ± 267 mg/kg tørt sediment.

De forskjellige statistiske analysene som ble utført på de faunistiske data fra Øst Frigg tydet på at de undersøkte stasjonene kunne plasseres i faunagruppe A siden alle er uforstyrret av feltrelatert aktivitet. Resultatene i de univariate statistikkene viste at det ikke var noen stor forskjell mellom referansestasjonene og de andre feltstasjonene. CCA resultatene viste at 34 % av den biologiske variasjonen var forklart ved de fem miljøvariablene stasjonsdyp, bly, sink, kobber og barium, mens de andre variablene som ble brukt, inklusiv THC, kornstørrelse og TOM, ikke var signifikant. Dette tyder på at gradienten av miljøendring som stammer fra installasjonene styres av en generell forstyrrelseseffekt og ikke sterk forurensning. Imidlertid er ikke effekten sterk nok til å påvirke fordelingen av organismene i det undersøkte området siden alle stasjonene på Øst Frigg har positive verdier på aksene som er negativt korrelert med forurensningsnivået.

Det har vært en markert minking i populasjonen av bunnfaunaen på alle stasjonene unntatt PSA 20 og PSB 20 og 21, mens antall taxa har økt på alle unntatt stasjonene PSA 9, 21 og referansestasjon 1 og PSB 8 og 17 siden 1991. Det gjennomsnittlige antall individ pr. stasjon (eksklusiv referansestasjonene) minket med 33 % mellom de to undersøkelsene, mens det gjennomsnittlige antall taxa økte med 15 %. Den mest markante endringen blant artene sees i minkingen i individantallet i hele Øst Frigg-området for noen børstemarkere. Som et resultat av dette har faunadiversiteten økt betraktelig (gjennomsnittsverdi hhv. 3,3 og 4,9 i den foregående og denne undersøkelsen). Disse økningene ble sett over hele det undersøkte området, noe som indikerer at fenomenet var generelt og ikke koblet til feltaktiviteter. Det må bemerkes at slike store årlige endringer er blitt registrert tidligere i andre områder av den nordlige Nordsjøen. For eksempel økte det gjennomsnittlige antall individ med 59 % og taxa med 22,5 på Ekofisk stasjoner mellom 1990 og 1993. Dette syntes å reflektere naturlige fluktuasjoner i de bentiske samfunnene, og ikke relatert til petroleumsvirksomheten i området. Dette ser også ut til å være den mest nærliggende forklaringen for endringene som ble registrert i denne undersøkelsen.

Minimum- og maksimumverdiene for noen av parameterene, sammen med referanseverdien fra Øst Frigg, 1997, er vist i Tabell 9.

Tabell 9: Minimum- og maksimumsverdier for noen av parametrene, sammen med referanseverdien på Øst Frigg, 1997.

Parameter	Min. verdi	Stasjon	Maks. verdi	Stasjon	Referansestasjon
% pelitt	3,09	PSB8	5,56	PSA7	PSA 2,37 PSB 5,51
% TOM	0,96	PSA18	1,17	PSA7	PSA 0,96 PSB 0,69
THC (mg/kg)	6,1 ± 1,6	PSA20	26 ± 21	PSB7	PSA 5,0 ± 1,1 PSB 4,3 ± 0,7
NPD * (µg/kg)	33 ± 5	PSA8	75 ± 72	PSB7	PSA 28 ± 13 PSB 19 ± 1
3-6 ring PAH * (µg/kg)	41 ± 1	PSA8	79 ± 54	PSB7	PSA 28 ± 12 PSB 69 ± 12
Dekaliner * (µg/kg)	80 ± 10	PSA8	228 ± 183	PSB7	PSA 103 ± 67 PSB 96 ± 4
Barium (mg/kg)	72 ± 17	PSB15	388 ± 267	PSB7	PSA 39 ± 8 PSB 72 ± 14
Ant. taxa	117	PSB18	145	PSA20	PSA 103 PSB 143
Ant. ind.	1274	PSA18	2457	PSB6	PSA 1295 PSB 1979
Diversitet (H')	4,2	PSB17	5,6	PSB7	PSA 5,0 PSB 5,4

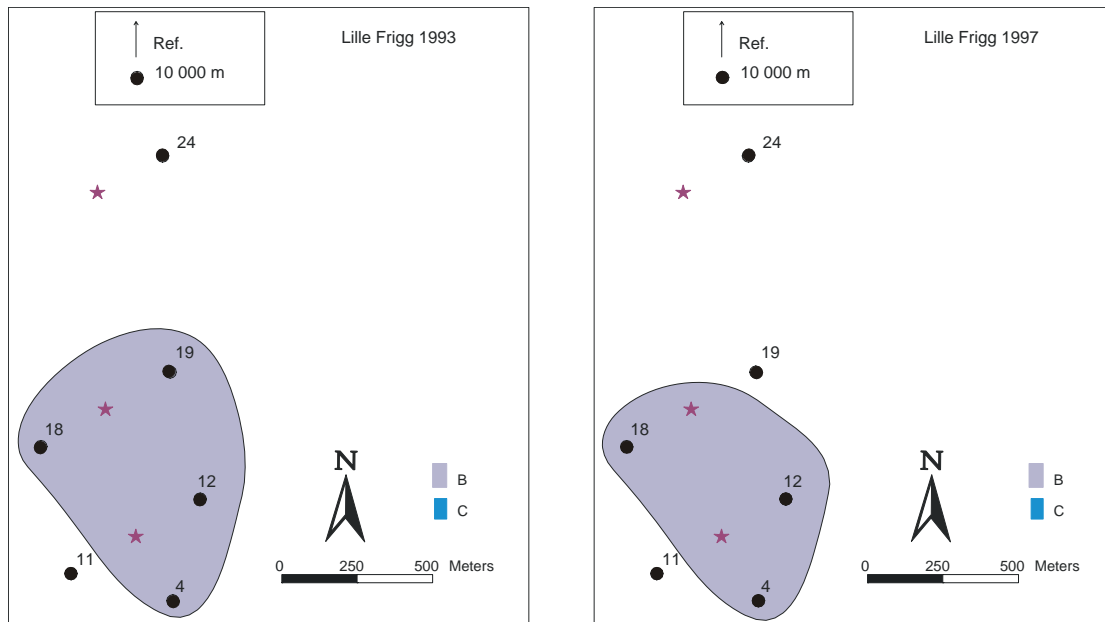
3.12 Lille Frigg

I denne undersøkelsen ble det funnet lave mengder totalt hydrokarboninnhold (6-9 mg/kg) i sediment fra Lille Frigg. Ingen av stasjonene som ble undersøkt ble ansett å være kontaminert med hydrokarboner. I 1995 var C1-stasjon 4 og 12 og C2-stasjon 19 kontaminert med hydrokarboner. Konsentrasjonene av barium varierte fra 1232 ± 310 mg/kg (C2-stasjon 18) til 203 ± 72 mg/kg tørt sediment (C3- stasjon 24). Alle stasjonene som ble undersøkt i årets undersøkelse ble funnet å være kontaminert med barium. De samme stasjonene ble også betraktet som kontaminert med Ba i 1995. Sammenlignet med resultatene fra 1995 er innholdet av hydrokarboner i sedimentet så og si uforandret mens innholdet av barium er redusert.

På bagrunn av de forskjellige statistiske analysene som ble utført på de faunistiske data fra Lille Friggfeltet ble to stasjonsgrupper definert som følger: faunagruppe A (uforstyrret) bestående av stasjon 11, 19, 24 og referansestasjonen og gruppe B (lett forstyrret) bestående av stasjonene 4, 12 og 18. Utbredelsen av disse faunagruppene er vist i Figur 6.

CCA resultatene viste at stasjonene 4, 12 og 18 er sterkest assosiert med borerelaterte forstyrrelses effekter. De er også adskilt fra de andre feltstasjonene ved å ha høyere totalt taxa- og individantall og høyere antall individ pr. art. Når det gjelder artssammensetning skiller de seg ut ved å ha høyere antall små, opportunistiske børstemarkere. Det må imidlertid bemerkes at disse forskjellene er forholdsvis små.

Der er ingen tydelig forskjell i noen av de fysiske eller kjemiske variablene mellom faunagruppe A og B stasjoner annet enn sammenhengen mellom gruppe B stasjoner og barium i CCA. En lett forstyrrelse på stasjonene S og Ø av C1 (stasjon 4 og 12) og V av C2 er registrert. Dette består av en liten økning i faunadiversiteten og tettheten på stasjonene med høyere bariumnivå.



Figur 6: Utbredelsen av faunagrupper på Lille Frigg in 1997 og foregående undersøkelse.

Minimum- og maksimumverdiene for noen av parameterene, sammen med referanseverdien fra Lille Frigg, 1997, er vist i Tabell 10.

Tabell 10: Minimum- og maksimumsverdier for noen av parametrene, sammen med referanseverdien på Lille Frigg, 1997.

Parameter	Min. verdi	Stasjon	Maks. verdi	Stasjon	Referansestasjon
% pelitt	3,37	11	6,06	12	3,36
% TOM	0,67	11	1,45	12	1,00
THC (mg/kg)	5,9 ± 1,0	24	8,7 ± 2,1	11	8,3 ± 1,1
NPD * (µg/kg)	40 ± 10	4	*	*	15 ± 0
3-6 ring PAH * (µg/kg)	56 ± 3	4	*	*	44 ± 9
Dekaliner * (µg/kg)	56 ± 16	4	*	*	99 ± 23
Barium (mg/kg)	203 ± 72	24	1232 ± 310	18	48 ± 9
Ant. taxa	123	24	156	12	137
Ant. ind.	1490	24	3748	18	1580
Diversitet (H')	4,2	19	5,4	11	5,3

*) Analysert på en stasjon.

Der har vært en økning i antall individ og taxa på alle stasjonene siden 1993 undersøkelsen. Det gjennomsnittlige antall individ pr. stasjon (eksklusiv referansestasjonen) har økt med 34 % (18 % på referansestasjonen), mens antall taxa har økt med 35 % (23 % på referansestasjonen) Også faunadiversiteten har økt på alle stasjonene i den samme perioden. Individtettheten var høyere i 1997 enn i 1993 på alle syv undersøkte stasjoner, men kun høyere enn det som ble registrert i 1992 på stasjon 4, 11 og 18. Antall taxa var høyere i 1997 på alle stasjonene enn antallet som ble registrert både i 1992 og 1993.

3.13 Nordøst Frigg

I likhet med den tidligere undersøkelsen i 1992, hadde sediment fra referansestasjonen det høyeste innholdet av hydrokarboner og utvalgte metaller. Ingen av stasjonene som ble undersøkt i årets undersøkelse ble funnet å være kontaminert med hydrokarboner eller barium. Innholdet av hydrokarboner og utvalgte metaller var generelt uforandret over feltet sammenlignet med 1992.

De forskjellige statistiske analysene som ble utført på de faunistiske data fra Nordøst Frigg tydet på at de undersøkte stasjonene har en faunasammensetning som er typisk for denne type uforstyrret sediment i den nordlige Nordsjøen. Alle stasjonene er definert å tilhøre gruppe A i faunakarakteristikker når en sammenligner med faunafordelingen andre steder i regionen (selv om referansestasjon 20 er noe forskjellig fra feltstasjonene når det gjelder faunasammensetning).

Der har vært en generell økning i mengde THC og TOM i sedimentene på Nordøst Friggfeltet og en generell nedgang i metallinnholdet siden foregående undersøkelse. Faunadiversiteten har økt, noe som forklares ved nedgangen i individtettheten for de mest dominante børstemarkene siden 1992 undersøkelsen. Disse artene dominerer fortsatt i 1997 på referansestasjonen, men har minket til et forholdsvis lavt individantall på feltstasjonene. Undersøkelser i andre områder i Nordsjøen har tydet på at populasjonene til disse artene varierer sterkt fra år til år som et resultat av naturlige miljøfaktorer. Den generelle nedgangen i disse populasjonene og en økning i antall arter hos andre faunagrupper har resultert i at populasjonen i området nå er mer divers og jevnt fordelt enn i 1992.

CCA resultatene viste at 37 % av den biologiske variasjonen ble forklart ved de fire miljøvariablene pelitt, bly, barium og sink, mens de andre variablene, inklusiv de andre metallene, THC og TOM, ikke var signifikante. Ingen av de potensielle forurensningsparameterene som ble målt viste nivåer over signifikant forurensningsnivå, slik at sammenhengen mellom faunafordelingen og de tre metallene og pelitt i CCA ordinasjonen reflekterer en naturlig gradient i kornstørrelsessammensetning i området.

Det gjennomsnittlige antall individ pr. stasjon (eksklusiv referansestasjonen) har minket med 41 % mens antall taxa er lik når de to undersøkelsen sammenlignes. På referansestasjonen minket antall individ med 15 % og antall taxa økte med 20 % i forhold til foregående undersøkelse.

Minimum- og maksimumverdiene for noen av parameterene, sammen med referanseverdien fra Nordøst Frigg, 1997 er vist i Tabell 11.

Tabell 11: Minimum- og maksimumsverdier for noen av parametrene, sammen med referanseverdien på Nordøst Frigg, 1997.

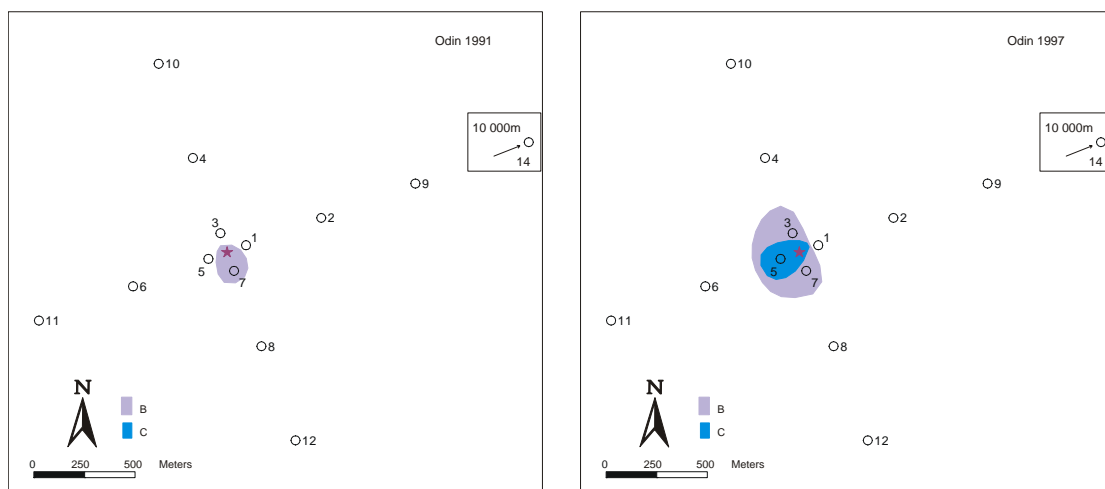
Parameter	Min. verdi	Stasjon	Maks. verdi	Stasjon	Referansestasjon
% pelitt	1,15	23	2,01	22	3,33
% TOM	0,66	5, 22	0,78	6	1,16
THC (mg/kg)	2,8 ± 0,3	6	6,6 ± 2,3	23	8,9 ± 1,2
NPD * (µg/kg)	8 ± 2	5	*	*	25 ± 12
3-6 ring PAH * (µg/kg)	18 ± 1	5	*	*	43 ± 9
Dekaliner * (µg/kg)	5 ± 8	5	*	*	110 ± 19
Barium (mg/kg)	17 ± 4	23	26 ± 10	6	53 ± 5
Ant. taxa	89	6	108	5	128
Ant. ind.	640	22	759	23	1550
Diversitet (H')	5,3	6	5,5	22	4,8

*) Analysert på en stasjon.

3.14 Odin

De høyeste hydrokarbonkonsentrasjonene (11-20 mg/kg) ble i år funnet på 100 m stasjonene på 340°, 250° og 160°- aksene (stasjon 3, 5 og 7). Disse stasjonene er også stasjonene som er signifikant kontaminert med hydrokarboner. I 1991 ble stasjonene 1, 3, 5, 7 og 4 ansett å være lett kontaminert med hydrokarboner. De største mengdene av barium ble funnet i sediment fra stasjonene 3, 4 og 5 (80-112 mg/kg). Stasjon 3 var den eneste stasjonen som ble funnet å være kontaminert med barium. De fire 100 m stasjonene (stasjon 1, 3, 5 og 7) ble ansett å være kontaminert med barium i 1991. Sammenlignet med 1991-resultatene har hydrokarbonnivåene økt på stasjonene 3, 5 og 7. På de øvrige stasjonene er innholdet av hydrokarboner nesten uforandret siden forrige undersøkelse. Innholdet av barium er nesten uforandret siden 1991.

På bakgrunn av de forskjellige statistiske analysene som ble utført med de faunistiske data fra Odinfeltet ble tre stasjonsgrupper definert som følger: faunagruppe A (uforstyrret) bestående av stasjon 1, 2, 4, 6, 8, 9, 10, 11, 12 og referansestasjonen, gruppe B (lett forstyrret) bestående av stasjon 3 og 7 og gruppe C (moderat forstyrret) bestående av stasjon 5. Utbredelsen av disse faunagruppene er vist i Figur 7.



Figur 7: Utbredelsen av faunagruener på Odin, 1997 og foregående undersøkelse.

Stasjonene i gruppe B og C har de høyeste individtetthetene av opportunistiske børstemark. Verdiene av metallene og THC er generelt høyest på gruppe C stasjoner og lavest på gruppe A stasjoner, noe som viser en gradient av økende forurensning med minkende avstand fra sentrum.

CCA resultatene viste at 41,5 % av den biologiske variasjonen ble forklart ved de fem signifikante miljøvariablene kadmium, bly, sink, barium og pelitt, som har en sterk positiv korrelasjon med førsteaksen i ordinasjonen. De tre stasjonene med forstyrret fauna, stasjon 5 (gruppe C) og stasjon 3 og 7 (gruppe B) har høye positive verdier på denne akse, noe som tyder på at den registrerte forstyrrelsen har sammenheng med forurensning av metaller i sedimentene. De andre variablene som ble brukt, inklusiv THC og TOM, var ikke signifikante.

Minimum- og maksimumverdiene for noen av parameterene, sammen med referanseverdien fra Odin, 1997 er vist i Tabell 12.

Tabell 12: Minimum- og maksimumsverdier for noen av parametrene, sammen med referanseverdien på Odin, 1997.

Parameter	Min. verdi	Stasjon	Maks. verdi	Stasjon	Referansestasjon
% pelitt	1,61	3	2,79	4	3,45
% TOM	0,76	12	1,32	5	1,12
THC (mg/kg)	3,6 ± 0,9	8	11 ± 7	7	8,1 ± 1,7
NPD * (µg/kg)	16 ± 11	12	97 ± 126	7	21 ± 5
3-6 ring PAH * (µg/kg)	22 ± 3	12	54 ± 46	7	64 ± 24
Dekaliner * (µg/kg)	35 ± 2	12	102 ± 85	7	113 ± 51
Barium (mg/kg)	22 ± 5	12	112 ± 80	3	38 ± 3
Ant. taxa	82	12	120	6	87
Ant. ind.	564	12	1522	7	858
Diversitet (H')	4,1	5	5,8	11	4,6

*) Analysert på to stasjoner.

Det gjennomsnittlige antall individ pr. stasjon er lik i de to undersøkelsene som er sammenlignet, mens det gjennomsnittlige antall taxa har økt med 24 % i forhold til foregående undersøkelse. Med unntak av stasjon 5 har faunadiversiteten økt på alle stasjonene siden 1991. To opportunistiske børstemarkarter, indikatorarter for organisk anrikning, har økt i individtetthet på noen av stasjonene på 100 m avstand fra sentrum. På stasjonene med forstyrret fauna (stasjon 3, 5 og 7) har mengden med THC i sedimentet økt markert mellom de to undersøkelsene.

Det må bemerkes at grabben satte seg fast i en konstruksjon på havbunnen og ble mistet under innsamlingen på stasjon 5 (100 m fra sentrum). Operatøren foreslår at dette indikerer at båten var ute av posisjon ettersom det ikke skulle ligge noe på denne lokaliteten. Boring på feltet ble avsluttet for omtrent 15 år siden og bare vannbasert boreslam ble da brukt, mens det sist rapporterte utslippet på feltet foregikk i 1994. Lokal fysisk forstyrrelse av sedimentet kan ha skjedd under fjerningen av installasjonen i 1994.