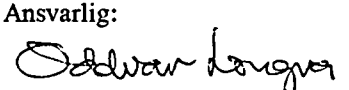


NGU Rapport 92.222

Berggrunnsgeologi Skagerrak. Foreløpig  
tolkning av refleksjonsseismiske data fra den  
nordøstre del av Skagerrak basert på data  
innsamlet i 1991.

Rapport nr. 92.222		ISSN 0800-3416	Gradering: Åpen	
<b>Tittel:</b> Berggrunnsgeologi Skagerrak. Foreløpig tolkning av refleksjonsseismiske data fra den nordøstlige del av Skagerrak basert på data innsamlet i 1991.				
<b>Forfatter:</b> T. Thorsnes		<b>Oppdragsgiver:</b> NGU/NSKV/NP/OD/SFT		
<b>Fylke:</b>		<b>Kommune:</b>		
<b>Kartbladnavn (M=1:250.000)</b> Arendal, Uddevalla		<b>Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000)</b>		
<b>Forekomstens navn og koordinater:</b> Skagerrak		<b>Sidetall:</b> 33	<b>Pris:</b> 115,-	
		<b>Kartbilag:</b> 4		
<b>Feltarbeid utført:</b> 04-06.91	<b>Rapportdato:</b> 14.05.92	<b>Prosjektnr.:</b> 66.2301.24	<b>Ansvarlig:</b> 	
<b>Sammendrag:</b> Berggrunnen i den nordøstre del av Skagerrak består av prekambriske grunnfjellsbergarter, paleozoiske overflatebergarter, senpaleozoiske dypbergarter og mesozoiske sedimentære bergarter. De paleozoiske overflatebergartene i Skagerrak kan knyttes sammen med de kambrosiluriske sedimentære bergartene i Langesundområdet. Utbredelsen av mesozoiske sedimentære bergarter er større enn det tidligere undersøkelser har vist. Senpaleozoiske og posttriassiske normalforkastninger (NØ-SV til N-S orientering) med sprang opptil 200 ms toveis gangtid er registrert. I tillegg opptrer mulige neotektoniske forkastninger.				
<b>Emneord</b>	<b>Berggrunnsgeologi</b>	<b>Refleksjonsseismikk</b>		
<b>Strukturgeologi</b>	<b>Paleozoikum</b>	<b>Mesozoikum</b>		
<b>Sedimentær bergart</b>	<b>Neotektonikk</b>	<b>Fagrapport</b>		

## **INNHOOLD**

1	INNLEDNING	5
2	UNDERSØKELSESONMRÅDET	6
3	METODER - NAVIGASJON OG INSTRUMENTERING	7
4	REGIONAL GEOLOGI	7
5	UTBREDELSE OG STRUKTURELL UTVIKLING AV PALEOZOISKE BERGARTER I DEN NORDLIGE DEL AV SKAGERRAK	10
	5.1 Paleozoiske bergarter mellom Langesund og Midtlinjen, nordøstre del av undersøkelsesområdet	10
	5.2 Paleozoiske bergarter utenfor Risør-Arendal, sørvestre del av undersøkelsesområdet	17
6	UTBREDELSE AV OG STRUKTURELL UTVIKLING INNEN DE MESOZOISKE SEDIMENTÆRE BERGARTENE, NORDØSTRE SKAGERRAK	21
7	ENHETER AV USIKKER ALDER LANGS NORSKERENNA	25
	7.1 Kaotisk enhet på sørøstflanken av Norskerenna	25
	7.2 Sedimentkile langs nordvestsiden av Norskerenna	27
8	SAMMENDRAG	29
9	REFERANSER	31

## KARTBILAG:

92.222-01: kart over grunnseismisk linjenett, tokt 9101.

92.222-02: kart over utgående berggrunn, M. 1:250.000.

92.222-03: kart over to-veis gangtid til grenseflaten mellom paleozoiske og mesozoiske bergarter.

92-222-04: kart over mektighet for mesozoiske bergarter.

# BERGGRUNNSGEOLOGI, SKAGERRAK

## FORELØPIG TOLKNING AV REFLEKSJONSSEISMISKE DATA FRA DEN NORDØSTLIGE DEL AV SKAGERRAK BASERT PÅ DATA INNSAMLET I 1991

### 1 INNLEDNING

I perioden 29. april til 10. juni 1991 utførte Norges geologiske undersøkelse (NGU) i samarbeid med Statens kartverk, div. Norges Sjøkartverk (NSKV) et maringeologisk/geofysisk/hydrografisk tokt (tokt nr. 9101) i Skagerrak med NSKVs fartøy M/S Geofjord. Formålet med toktet var for NGU å samle inn grunnseismiske og magnetiske data i den nordøstlige delen av Skagerrak. For NSKV var formålet med undersøkelsene detaljert kartlegging av dybdeforholdene ved hjelp av multistråleekkoloddet EM 100. Dybdataene fra NSKV forventes ferdigprosessert i juni 1992, og vil være et nyttig for å kartlegge tektoniske strukturer i området.

Toktet inngår i et undersøkelsesprogram for Skagerrak, kystnære farvann langs den sydlige delen av Vestlandet, og et område begrenset av 57-58° N og 4-6° Ø i Nordsjøen, som er tidsavgrenset til 1991-95. Anvendelse av berggrunnsgeologiske data fra disse undersøkelsene er knyttet til regionalgeologiske sammenstillinger og undersøkelser relevante for petroleumsindustrien, herunder:

- vurdering av sikkerhet for undersjøiske installasjoner i forbindelse med nåværende bevegelser langs eldre bruddsoner (neotektonikk).
- vurdering av kilder for grunn gass, som kan være et risikoelement i forbindelse med undersjøiske installasjoner.
- regional sammenstilling av data for presentasjon dels i et geologisk informasjonssystem (2- og 3-dimensjonale modeller), dels i form av tradisjonelle berggrunnskart.
- undersøkelse av forkastningsmønster knyttet til kystnære basseng med sedimentære bergarter, som kan være av interesse for andre etaters/firmas modellstudier i forbindelse med olje/gass-prospektering.
- naturlige bakgrunnsverdier (metaller og lette hydrokarboner) ved forurensningskartlegging.

Denne rapporten oppsummerer foreløpige tolkninger av utbredelsen av berggrunnsgeologiske hovedenheter og strukturell utvikling i undersøkelsesområdet. En rapport om kvartærgeologi basert på de samme dataene er laget av Olsen (1992). For tekniske data m.m. henvises det til Bøe et al. (1991).

## 2 UNDERSØKELSESONRÅDE OG DYBDEFORHOLD

Tokt nr. 9101 ble utført i et område av Skagerrak som strekker seg langs kysten fra Tjøme i nordøst til Arendal i sørvest og fra kysten ut til midtlinja mot Sverige/Danmark (tegning 92.222-01).

Det ble tilsammen kjørt 157 seismiske linjer med en samlet linjelengde på 3.249 km. Kvaliteten på de refleksjonsseismiske linjene varierer noe på grunn av værforholdene, men er generelt god.

Tegning 92.222-01 viser de utseilte refleksjonsseismiske linjene. Profilnettet er delvis tilpasset NGUs behov (geologisk kartlegging), men hovedsaklig følger det NSKV's opplegg for kartlegging av dybdeforholdene. Dette har ført til en varierende tetthet for profilene, som viser seg i forskjellig detaljeringsgrad i kartlegging av forkastninger og batymetriske lineamenter (skrenter, antatte forkastninger).

En svært forenklet fremstilling av dybdeforholdene i undersøkelsesområdet er vist på tegning 92.222-02, sammen med berggrunnsgeologien. Kontureringen av vanddyp er basert på sjøkart nr. 305, M. 1:350.000, og gir en svært grov oversikt over hovedtrekkene.

Fra utløpet av Langesundsfjorden sees en tydelig renne, ofte omtalt som Langesundskanalen, som munner ut i Norskerenna omtrent ved 500-meters koten. Parallelt med Langesundskanalen, men litt lengre øst, er det en lignende renne i sjøbunnen. I nordvest, utenfor kyststrekningen Jomfruland-Risør skråer havbunnen nokså bratt, men jevnt ned mot ca. 500 vanddyp. I området Arendal-Risør er det platå med svak helning fra 300 til 500 meters vanddyp, deretter en brattere skråning ut mot de dypeste deler av Norskerenna (ca. 730 meter). Fra bunnen av Norskerenna, som er jevn og flat, avtar vanddypet gradvis mot midtlinjen til Danmark.

### 3 METODER - NAVIGASJON OG UTSTYR

To forskjellige navigasjonsmetoder ble benyttet under toktet. Motorola Miniranger ble benyttet til posisjonering av linjer nær kysten (innenfor en avstand av ca. 30 km fra land). Seafix ble benyttet til posisjonering av linjer lenger ute fra kysten. NSKV hadde ansvaret for posisjonering under toktet. Feilmarginene under posisjonering varierte alt etter mottaksforholdene, men var oftest bedre enn 5 m. På grunn av mulige unøyaktigheter ved beregning av det seismiske slepets lengde kan en anta en nøyaktighet på ca. 15 m for de fleste linjene. For noen få linjer varierer feilmarginen mellom 15-300 m. Dette skyldes systematiske feil under logging av posisjonene (for utfyllende opplysninger om dette henvises det til Bøe et al. 1991, tabell 1). Under tolkning av dataene er de unøyaktige linjene brukt for å få en generell geologisk oversikt, men ikke til detaljkartlegging.

På grunn av variasjoner i berggrunns-/kvartærgeologi og vanddyp er det benyttet forskjellig instrumentering under toktet (Bøe et al. 1991, tabell 2).

For kartleggingen av berggrunn, ble det under toktet ble det brukt luftkanon og "Sleeve Gun" mellom 5 og 60 kubikktommer. I tillegg er det kjørt Boomer for kartlegging av løsmasser.

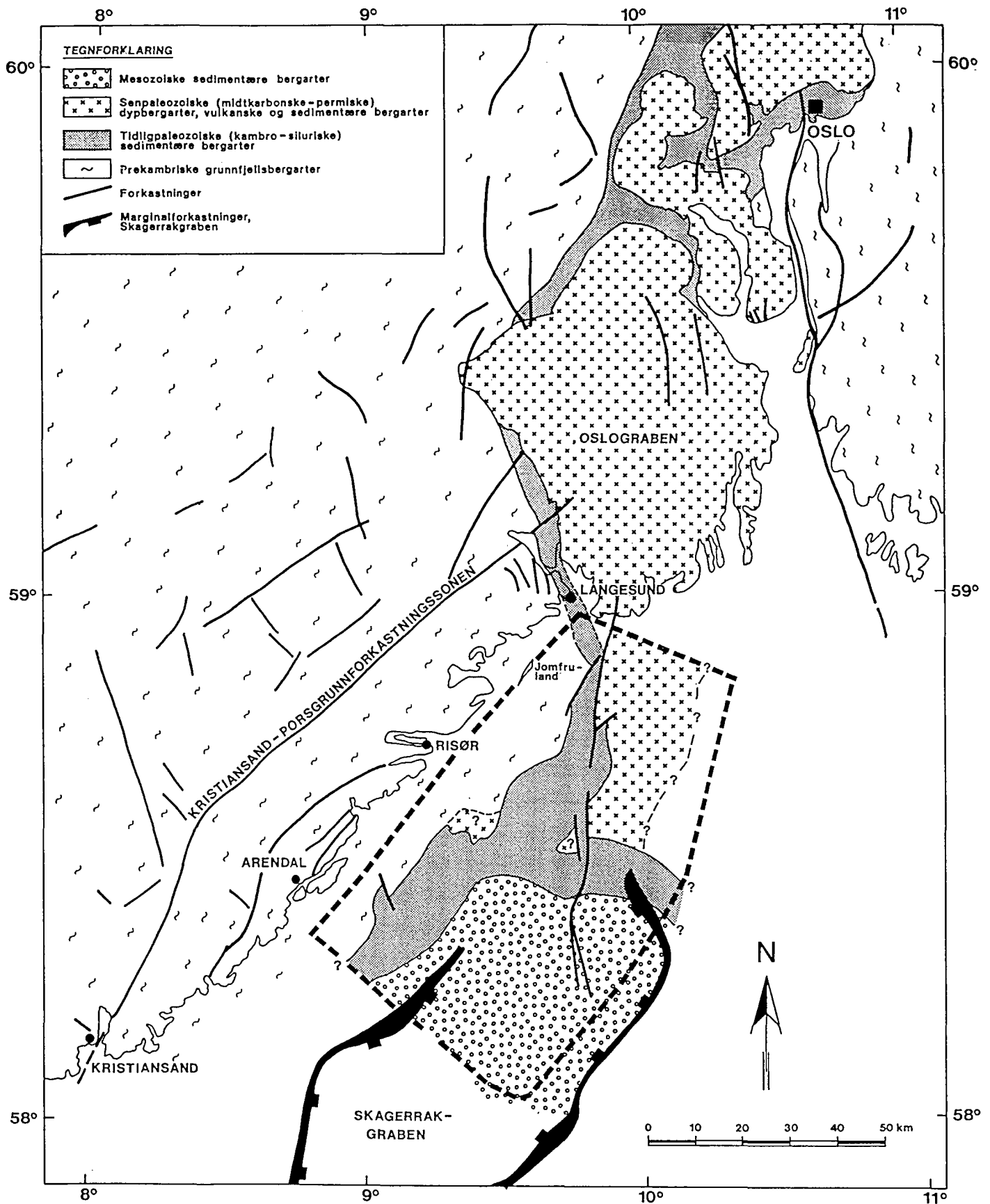
Det ble også benyttet et Elsec proton magnetometer, med digital lagring på PC. Et basemagnetometer var stasjonert i Kragerø. Disse dataene er planlagt prosessert og tolket i løpet av 1992. For detaljer angående instrumenteringen vises det til Bøe et al. (1991).

### 4 REGIONAL GEOLOGI

Berggrunnsgeologien i Skagerrak er sterkt knyttet til geologien i omliggende landområder. Det er derfor nødvendig å gi en regionalgeologisk oppsummering av hele området.

Det undersøkte området ligger i overgangssonen mellom Skagerrakgrabenen og Oslofeltets bergarter, inkludert Oslo grabenen (Fig. 1). Oslofeltets bergarter i det aktuelle området kan deles i en tidlig- og senpaleozoisk del. Den tidligpaleozoiske delen er avsatt på et underlag av prekambriske grunnfjellsbergarter, og omfatter mellomkambriske til sensiluriske marine sedimentære bergarter (basalkonglomerat, alunskifer, kalksteiner og sandsteiner) med enkelte bentonitthorisonter, og sensiluriske kontinentale sandsteiner (Størmer 1953; Bjørlykke 1974, 1983; Owen et al. 1990). I sensilurisk tid fantes det et deposenter i det området som i senpaleozoisk tid utviklet seg til Oslo- og Skagerrakgrabenene (Bjørlykke 1983).

Oslo grabenen ble dannet ved rifting og innsynkning i senpaleozoisk tid. Bergartene tilknyttet grabendannelsen er vesentlig senkarbonske til permiske dypbergarter samt mindre mengder gang- og dagbergarter (Oftedahl 1960; Ramberg & Larsen 1978, Sundvoll et al. 1990). I



Figur 1: Regionalgeologisk oversiktskart, Oslo-Skagerrakområdet. Modifisert fra Sigmond et al. (1984) og Ro et al. (1990a). Stiplet område ble undersøkt i 1991.



tillegg finnes det antatt marine midtkarbonske (Olaussen 1981) og kontinentale tidligpermiske (Henningsmoen 1978) sedimentære bergarter som overleirer de kambro-siluriske bergartene med en svak vinkeldiskordans (Rohr-Torp 1973). Skagerrakgrabenen (Ro et al. 1990a) antas å representere en utaskjærs fortsettelse av Oslo grabenen. Her ligger en mektig sekvens (mer

enn 2 sekunder toveis gangtid, minst 5 kilometer) med tidligpaleozoiske overflatebergarter, begrenset av to NØ-løpende normalforkastninger. I følge Ro et al. (1990b) ligger det langs disse hovedforkastningene en antatt permisk (senpaleozoisk) sekvens diskordant over tidligpaleozoiske overflatebergarter. Denne diskordante sekvensen kan stamme fra erosjon langs forkastningsskrentene, fra erosjon fra en sentralt oppløftet del, eller for en stor del av bestå av vulkanoklastisk materiale. Det kan stilles spørsmålsteget ved eksistensen av den nordvestre marginalforkastningen og den permiske sekvensen (Brekke, H. -personlig kommunikasjon 1992).

Mesozoiske sedimentære bergarter ligger med en bunntriassisk vinkeldiskordans over de paleozoiske bergartene i Skagerrak (Sellevoll & Aalstad 1971, Van Weering 1982, Hamar et al. 1983).

Tektonisk aktivitet i området er registrert fra prekambrisk tid til nåtid. I grunnfjellet utgjør Kristiansand-Porsgrunnforkastningssonen (Fig. 1) et viktig langlivet lineament hvor det har vært påvist duktil, prekambrisk deformasjon og post-kaledonsk sprø forkastningsaktivitet (Ramberg & Smithson 1975, Starmer 1991).

Kaledonsk (sensilurisk-tidligdevonsk) deformasjon i de tidligpaleozoiske bergartene i Oslo-feltet varierer mye fra nord til sør. I nord er deformasjonen preget av duktil folde- og skyvetektonikk (Bockelie & Nystuen 1985), mens bergartene i den sørlige del av feltet er lite påvirket av dette. Et brudd i lagrekken i Langesundsområdet er tolket som en liten skyvesone (Bockelie & Nystuen 1985), men senere arbeider viser at dette kan være en erosjonsinkonformitet (Ribland Nilssen 1985, i Owen et al. 1990). De sedimentære bergartene er vanligvis nedfoldet inn mot de permiske dypbergartene, i tilknytning til intrusjon av disse. Sprø deformasjon er kjent i de sørlige deler av Oslofeltet. I de kambro-siluriske bergartene i sørvestre deler av Oslo-feltet (Eiken-Sandsvær) er det påvist forkastninger med mindre bevegelse før eller samtidig med avsetning av sedimentene. Knyttet til intrusjon av de permiske dypbergartene skjedde en del forkastningsaktivitet, delvis som reaktivering av eldre forkastninger (Rohr-Torp 1973). Endel seismisk aktivitet (jordkjelv) fra nåtiden er kjent fra Osloriften (Oslo graben, Skagerrakgraben) (Bungum et al. 1991).

## 5 UTBREDELSE OG STRUKTURELL UTVIKLING AV PALEOZOISKE BERGARTER I DEN NORDLIGE DEL AV SKAGERRAK

### 5.1 Paleozoiske bergarter mellom Langesund og Midtlinjen, nordøstre del av undersøkelsesområdet

En oversikt over de geologiske enhetene som er kartlagt i denne undersøkelsen er gitt i tegning 92.222-02. Beskrivelsen tar geografisk utgangspunkt i Langesundsområdet (Fig. 1, tegning 92.222-02), hvor de kambro-siluriske bergartene er avsatt ikke-konformt (jfr. Nystuen 1986) på prekambriske grunnfjellsgneiser. Et basalkonglomerat av mellomkambrisk alder er stedvis utviklet over ikke-konformiteten. Over dette følger alunskifer, ordovisiske kalksteiner og siluriske sandsteiner. Den undre delen av den kambro-siluriske sekvensen er kontaktmetamorfosert av basaltisk-dolerittiske lagerganger (Owen et al. 1990).

Langs grensen mellom grunnfjellet og kambro-siluren går en opptil 120 m høy markert rygg, hvor de kambro-siluriske bergartene rager opp. Denne ryggen kan stedvis følges i sørøstlig retning utover i Langesundsbukta og Langesundskanalen, og er et av kriteriene brukt for å dra grensen mellom grunnfjell og de kambro-siluriske bergartene. Videre skiller enhetene seg fra hverandre ved seismisk karakter:

- grunnfjellet har typisk en uregelmessig overflate, et karakteristisk diffraksjonsmønster, og lav seismisk penetrasjon. Disse bergartene utgjør et akustisk underlag, i likhet med antatt permiske dypbergarter øst for Langesund.
- de paleozoiske bergartene har en jevnere overflate, og færre diffraksjoner. Enkelte steder sees uklare reflektorer som er parallelle eller subparallelle med overflaten. Sekvensen er mer transparent enn grunnfjellsbergartene. Utover mot Skagerrak blir reflektorene tydeligere. Mangelen på tydelige reflektorer i de indre deler av den paleozoiske sekvensen kan skyldes kontaktmetamorfose eller småskala folding (evt. begge deler) tilknyttet intrusjon av de permiske dypbergartene.

Alderen er på de paleozoiske bergartene som er kartlagt i denne undersøkelsen er usikker. Det er grunn til å anta at det nær land er overveiende kambro-siluriske bergarter. Midt-karbonske og tidligpermiske sedimentære og vulkanske bergarter er kjent fra Oslofeltet/Oslo-graben, og det er mulig at bergarter fra disse tidsrommene også er representert i den kartlagte paleozoiske sekvensen.

De tidligpaleozoiske bergartene kan følges fra land ved Langesund via Langesundskanalen ut i Skagerrak. Det ser ut til at Langesundskanalen kan deles i tre segmenter; et indre NV-SØ orientert segment som er lite kjent pga. manglende seismisk kontroll, et midtre N-S orientert segment som kan være en grabenstruktur, og et ytre N-S orientert segment som kan være en halvgrabenstruktur.

I det indre, NV-SØ orienterte segmentet er de paleozoiske overflatebergartene begrenset mot øst av en ca 200 m høy skrent (Tegning 92.222-02, lok. A). Øst for skrenten finnes bergarter med uregelmessig overflate, mange diffraksjoner og lav seismisk penetrasjon (Fig. 2), i likhet med grunnfjellet vest og nordvest for Langesund. Ut fra kartbildet på landsiden (Sigmond et al. 1984), er det grunn til å anta at dette representerer fortsettelsen av permiske dypbergarter. Om denne skrenten er knyttet til en forkastning, eller er den primære intrusive grensen, eventuelt modifisert av tektoniske bevegelser, er ikke kjent grunnet manglende seismisk dekning.

Det midtre segmentet av Langesundskanalen er karakterisert ved at den strukturelle trenden snur fra NV-SØ til N-S. De paleozoiske bergartene ligger i et trau som kan følges ut i Skagerrak. I de indre deler er trauret begrenset mot VNV og ØSØ av to skrenter med opp til 200 m høyde, og sekvensen ser ut til å ligge i en grabenstruktur (Tegning 92.222-02, lok. B).

Den nordvestre skrenten kan følges ca. 10 km, før den går over til å danne et trau i grunnfjellsgneisene. Skrenten tolkes som en normalforkastning, hvor de paleozoiske overflatebergartene er nedforkastet på sørøstsiden. Videre mot SSV er grensen mellom grunnfjell og paleozoiske overflatebergarter kjennetegnet av en rygg på samme måte som i Langesundsbukta og på land ved Langesund (Fig. 3). Denne grensen tolkes derfor som en avsetningsgrense (Tegning 92.222-02, lok. C).

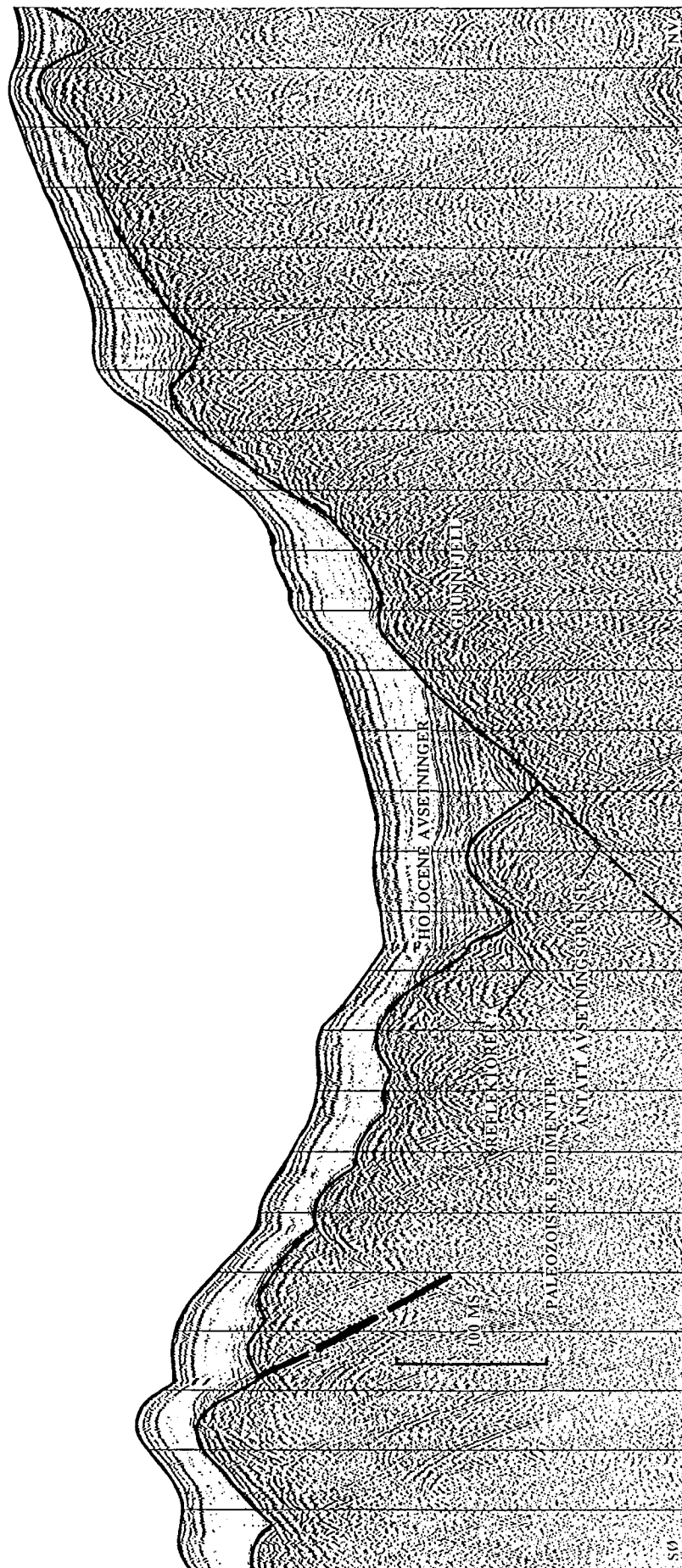
Skrenten på ØSØ-siden av trauret kan sannsynligvis knyttes til et ca. 130 m dypt trau ca. 1 km vest for Tvisteinen fyr, og videre inn mot Hummarbakkfjorden (Tegning 92.222-02, lok. D). Flyfototolkning av området viser kraftig oppsprekking av de permiske dypbergartene på begge sider av fjorden, dog mest markant i en ca. 500 m bred sone på østsiden. Dette representerer sannsynligvis en bevegelsessone med tilknyttet oppknusning.

I det ytre segmentet av Langesundskanalen kan skrenten følges ca. 20 km med stor grad av sikkerhet. De første 15 km skiller skrenten de paleozoiske overflatebergartene fra de permiske dypbergartene (Tegning 92.222-02, lok. E). Mot nordvest er undergrensen for de paleozoiske overflatebergartene tolket som en avsetningsgrense (Tegning 92.222-02, lok. F), og sekvensen ser derfor ut til å ligge i en halvgraben-struktur.

Deretter går skrenten ca. 5 km i de paleozoiske overflatebergartene, før den blir mer indistinkt ved at relieffet avtar og det er vanskelig å skille den fra et system av NØ-SV-løpende skrenter. I dette området er grensen mellom de paleozoiske overflatebergartene og de permiske dypbergartene kjennetegnet av en uklar, nærmest overgangsmessig grense uten noe større relieff (Tegning 92.222-02, lok. G). Det er nærliggende å foreslå at dette skyldes en kombinasjon av intrusjon av ganger og kontaktmetamorfose langs en intrusiv grense. Videre utover er forløpet mer usikkert pga. manglende seismisk dekning, men en mulig



**Figur 2:** Paleozoiske overflatebergarter ligger i et strukturelt kontrollert trau i indre deler av Langesundskanalen. Snittlengde ca. 9 kilometer. For lokalisering, se tegning 92.222-01,-02.



**Figur 3:** Antatt avsetningsgrense mellom paleozoiske overflatebergarter og prekambrisk grunnfjell. Snittlengde ca. 6 kilometer. For lokalisering, se tegning 92.222-01, -02.

sammenheng mellom den sørøstre skrenten og en normalforkastning som påvirker mesozoiske bergarter er vist på Tegning 92.222-02, lok. H. De paleozoiske overflate-bergartene i trauret har få tydelige reflektorer, men de som er observert, viser alle et fall mot øst. Skrenten tolkes som en normalforkastning på bakgrunn av det markerte relieffet, og den antatte sammenhengen med knusningssonen på land ved Hummarbakkfjorden og forkastningen som påvirker mesozoiske bergarter. Det kan ikke helt avvises at skrenten er knyttet til erosjon langs en opprinnelig intrusiv grense mellom de paleozoiske overflatebergartene og de permiske dypbergartene, men dette regnes som mindre sannsynlig.

En geomorfologisk høyde (Tegning 92.222-02, lok. I) er funnet sørvest for de permiske dypbergartene, og er tilsynelatende skilt fra disse av et ca. 3 kilometer bredt trau (Tegning 92.222-02, lok. J). Høyden rager opptil 80 meter over gjennomsnittsdypden for de omgivende paleozoiske bergartene, og har en uregelmessig overflate med skarpe rygger og trau. Den seismiske karakteren skiller seg klart fra de paleozoiske bergartene ved å være mindre transparent, og flere skarpe magnetiske anomalier opptil 200 gamma er tilknyttet høyden. Mot trauret på østsiden av høyden løper en markert skrent, mens grenseforholdet rundt resten av høyden er mer overgangsmessig og uten noe utpreget relieff. Den seismiske karakteren og uregelmessig overflate viser at dette neppe er paleozoiske overflatebergarter. Sannsynligvis er høyden den sørvestre delen av de permiske dypbergartene, skilt fra hovedmassivet av et forkastningskontrollert trau som er utviklet etter intrusjonen. En mulig sammenheng mellom skrenten på østsiden av trauret, og en normalforkastning som påvirker de triassiske bergartene ca. 15 kilometer lengre sør er vist på Tegning 92.222-02. Dette indikerer at dannelsen av trauret kan være av post-triassisk alder.

Flere mindre områder, med utstrekning opptil 2 kilometer langs et profil som går gjennom den sørvestre del av hovedmassivet, har en seismisk karakter som er lik de paleozoiske bergartene. Disse er skilt av topografiske rygger med tilknyttede magnetiske anomalier. Dette kan indikere at det finnes enklaver av paleozoisk (pre-permisk) materiale i de permiske dypbergartene. Et tettere seismisk nett og en detaljert tolkning av de magnetiske dataene er imidlertid nødvendig for å verifisere dette.

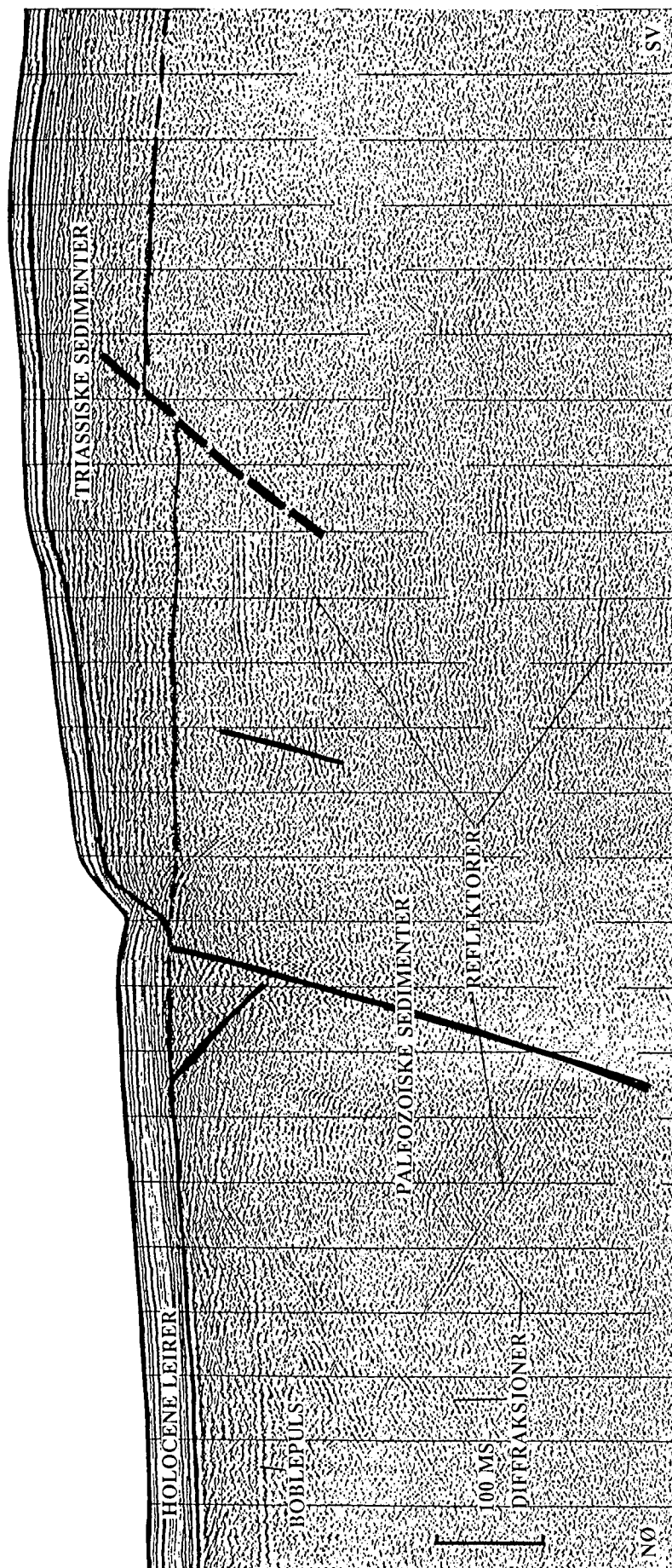
Grenseforløpet mellom akustisk underlag og de paleozoiske overflatebergartene videre mot sørøst er usikkert pga. spredt profilnett. Om det akustiske underlaget utgjøres av permiske dypbergarter eller prekambrisk grunnfjell er usikkert, og tolkning av magnetometriske data, evt. kombinert med prøvetaking, er nødvendig for å avgjøre dette. Tidligere arbeider har imidlertid indikert at det akustiske underlaget er permiske dypbergarter (Sellevoll & Aalstad 1971; Floden 1973; Solheim & Grønlie 1983).

Et område med relativt store mengder antatt biogen grunn gass er observert i den nordøstligste del av området hvor berggrunnen er permiske dypbergarter eller grunnfjell. Området er beskrevet i rapporten om kvartærgeologien i Skagerrak (Olsen 1992).

Grensen mellom paleozoiske bergarter og akustisk underlag kan identifiseres med god sikkerhet i den østligste delen av undersøkelsesområdet (Tegning 92.222-02, lok. K). I dette området kan man på grunnlag av seismisk karakter skille ut to enheter innenfor sekvensen av paleozoiske overflatebergarter. Det akustiske underlaget er kjennetegnet av lav penetrasjon, mange diffraksjoner, men en jevn overflate. Den undre delen av de paleozoiske overflatebergartene viser bedre penetrasjon, færre diffraksjoner, og uregelmessige og usammenhengende reflektorer som generelt faller mot SV. Overflaten er jevn. Grensen mot den mulige øvre delen av de paleozoiske overflatebergartene er ikke registrert pga. tekniske problemer (ca. 5 minutter, tilsvarende ca. 800 meter), men er omtrentlig angitt på Tegning 92.222-02, lok. L. Denne øvre delen viser betydelig bedre penetrasjon, og har regelmessige, plane reflektorer som faller parallelt eller subparallelt med reflektorene i den undre delen (Fig. 4). Overflaten er jevn. Et spesielt trekk er en rekke nesten plane diffraksjoner, som faller mot NØ. Disse diffraksjonene er sannsynligvis knyttet til en ca. 1 kilometer bred, kompleks forkastningssone, hvor reflektorene viser et kaotisk mønster og det er mange hyperboliske diffraksjoner (Tegning 92.222-02, lok. M). På sørvestsiden av forkastningssonen ligger reflektorene subhorisontalt, og subparallelt med undergrensen for triassiske sedimentære bergarter som kiler ut mot sørøst. Det er derfor litt vanskelig å skille de paleozoiske overflatebergartene fra de triassiske bergartene. Videre mot sørvest er dette lettere, ettersom reflektorer i de paleozoiske overflatebergartene skjæres av bunntrias-diskordansen.

Den mulige inndelingen av de paleozoiske overflatebergartene i dette området kan samsvare med inndelingen av de paleozoiske overflatebergartene på land; hvor den kambro-siluriske lagrekken er diskordant overleiret av midtkarbonske og tidligpermiske sedimentære og vulkanske bergarter. Alternativt kan forskjellen i seismisk karakter skyldes forskjellige litologier og dermed akustiske egenskaper i de to enhetene.

Bunntrias-diskordansen er tilnærmet parallell med den jevne overflaten av de paleozoiske overflatebergartene NØ for utkilingen av de triassiske sedimentære bergartene. Det foreslås derfor at denne overflaten representerer et subtriassisk peneplan, som ikke er påvirket av forkastningen i de paleozoiske bergartene. En sammenlikning med et kart over Skagerrakgrabenen (Ro et al. 1990a, Fig. 5) viser at den nordligste del av marginalforkastning A for grabenen sammenfaller omtrent geografisk med denne forkastningen (Fig. 2, Tegning 92.222-02).



Figur 4: Paleozoiske overflatebergarter ("øvre del") overliret av triassiske sedimentære bergarter som kiler ut mot nordøst. Legg merke til skråstilling av paleozoiske reflektorer i den nordøstre del av profilet. Snittlengde ca. 6 kilometer. For lokalisering, se tegning 92.222-01, -02.



## 5.2 Paleozoiske bergarter utenfor Risør-Arendal, sørvestre del av undersøkelsesområdet

Prekambriske grunnfjellsgneiser og mulige permiske dypbergarter strekker seg ca. 10 kilometer ut fra kysten i dette området. Utenfor disse følger en ca. 15 kilometer bred sone med paleozoiske overflatebergarter, som overleires av triassiske og yngre sedimentære bergarter i sentrale deler av Skagerrak. Regionalt sett ligger de paleozoiske bergartene på nordvestflanken av Skagerrakgrabenen (Ro et al. 1990a). Hovedtrekkene i området er:

- undergrensen for de paleozoiske overflatebergartene har et tilnærmet Z-formet forløp. I et mindre område løper grensen normalt på kysten, mot vanligvis kystparallelt (Tegning 92.222-02).
- i området hvor undergrensen for de paleozoiske bergartene løper normalt på kysten fins et område med store positive magnetiske anomalier, som danner en strukturell og geomorfologisk dom (Tegning 92.222-02, lok. N).
- de paleozoiske bergartene faller relativt jevnt utover mot Skagerrak fra grensen mot det akustiske underlaget, med unntak av domen tilknyttet de positive magnetiske anomalier.
- i de paleozoiske bergartene er der en rekke NØ-SV orienterte skrenter som er antatte normalforkastninger.
- åpne syn- og antiklinaler med akseplantraser delvis subparallelt skrentene, delvis med en mer NNØ-SSV-lig orientering.
- en større (minst 200 ms toveis-gangtid sprang) normalforkastning med antatt NV-SØ-lig retning SØ for Arendal (Tegning 92.222-02, lok. O).

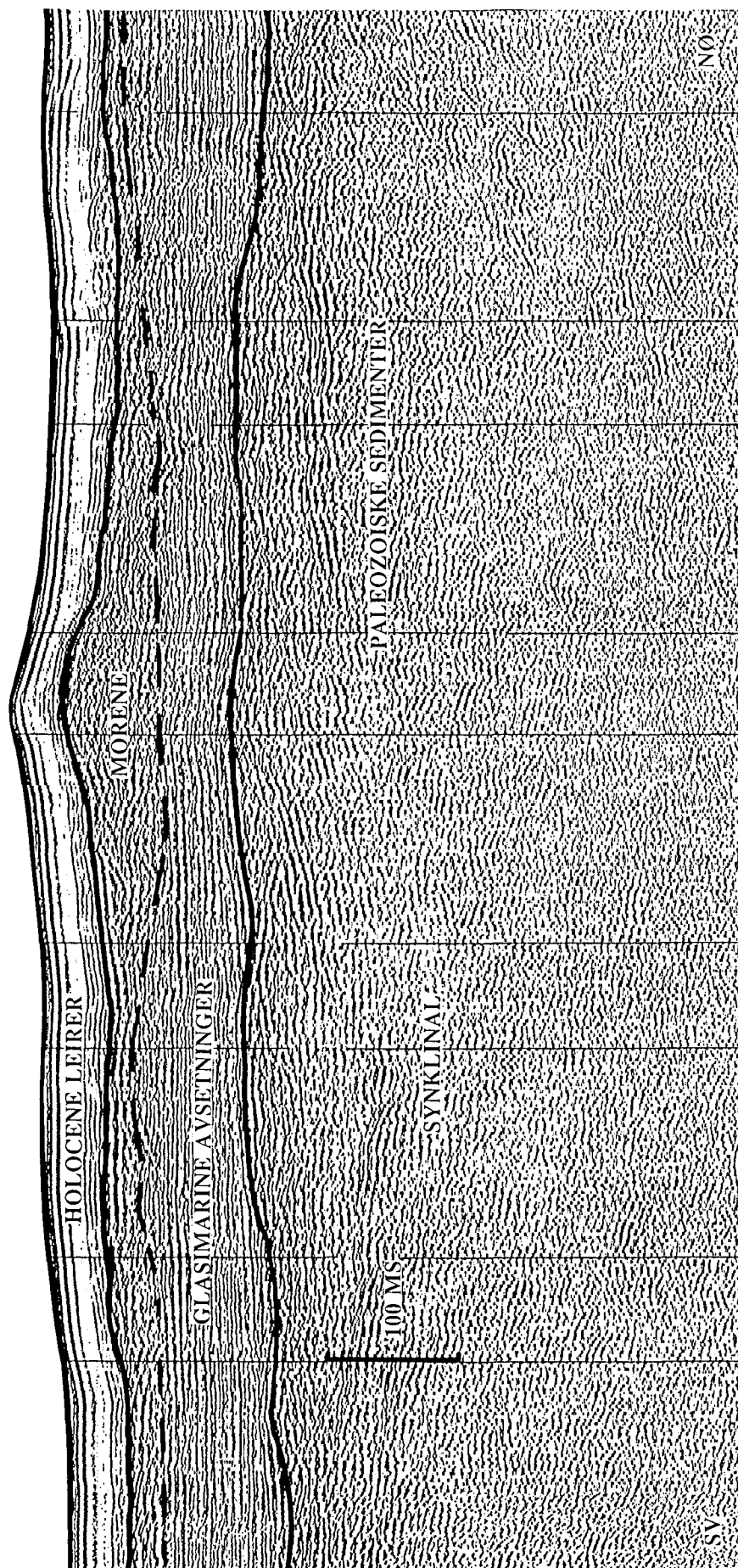
Grensen mellom de paleozoiske overflatebergartene og det akustiske underlaget bygger på seismisk karakter. Rygger av typen en finner i Langesundsbukta og ved Langesund er sjelden særlig velutviklet. Det har mange steder vært vanskelig å fastsette grensen presist pga. liten kontrast i akustiske egenskaper, men det antas at grensene er funnet med et par hundre meters nøyaktighet. Hoveddelen av linjene går mer eller mindre parallelt med undergrensen og hovedstrukturelementene, og dette har vanskeliggjort tolkningen.

Det Z-formede grenseforløpet faller som tidligere nevnt sammen med et område med store positive magnetiske anomalier. Dette er klart både ut fra en foreløpig tolkning av de marinmagnetometriske dataene, og tidligere innsamlede aeromagnetiske (NGU 1985). Det antas at disse anomalier grovt sett tilsvarer utbredelsen av bergarter som er mer magnetiske enn hoveddelen av de prekambriske gneisene. Fra det aeromagnetiske kartet (NGU 1985) er det tydelig at både prekambriske granitter innenfor grunnfjellet, og permiske dypbergarter kan gi opphav til slike anomalier. Anomalien er også foreslått å være tilknyttet tertiær vulkanisme, i form av et grunt "gangaktig tilførselsrør" for en tertiær vulkan (Åm 1973). Senere studier (Jensen & Langnes 1992) har imidlertid vist at dette neppe er sannsynlig. Anomaliområdet utgjør en dom, som kan beskrives både som strukturell (lagningen i de paleozoiske overflatebergartene faller vekk fra grensen mot det akustiske underlaget) og

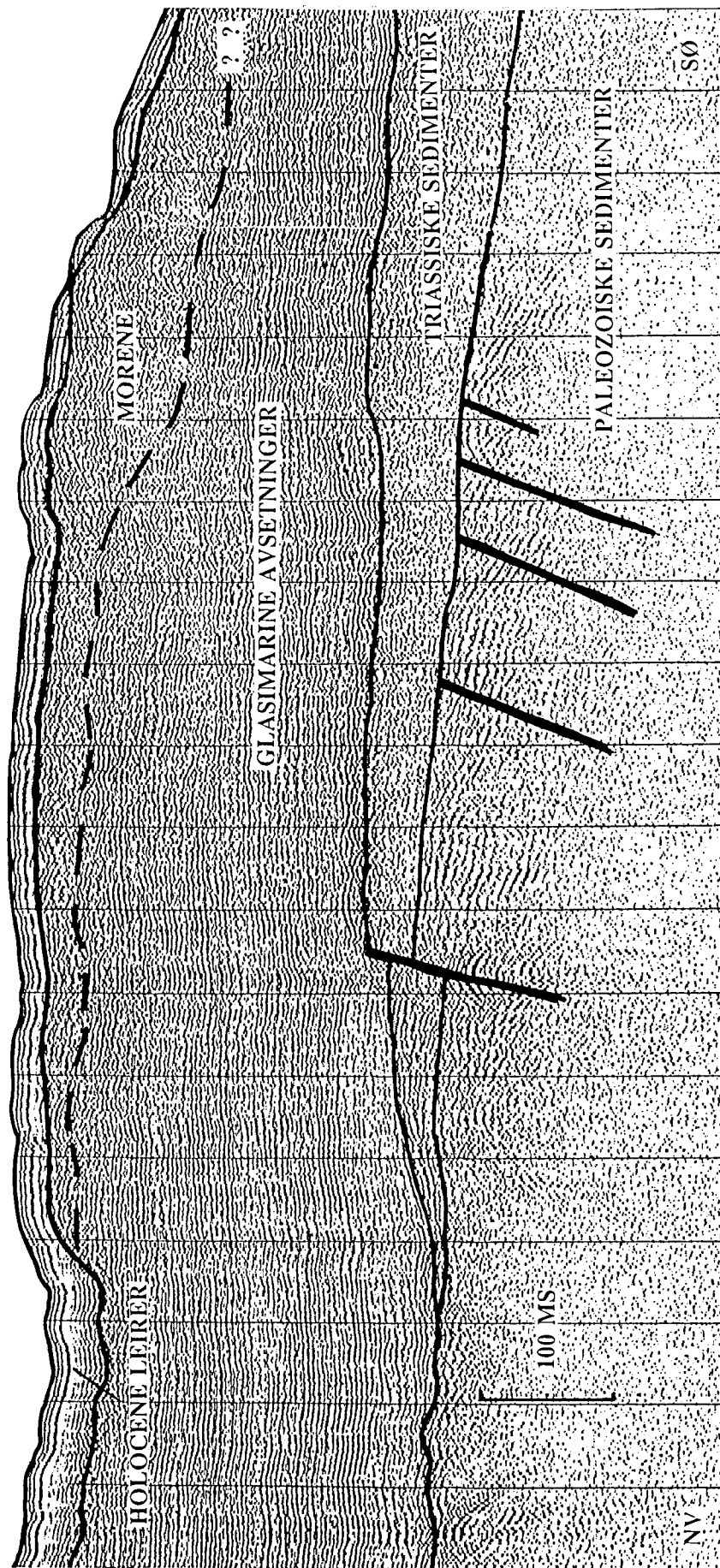
geomorfologisk (området rager opptil 50 meter høyere enn de omgivende paleozoiske bergartene). Pga. oppdomingen tolkes anomaliområdet foreløpig som en dypbergartskropp (paleozoiske eller yngre) som har intrudert de paleozoiske overflatebergartene og domet disse opp. Langs kyststrekningen Langesund-Lindesnes er det funnet en rekke sikre eller antatte gangbergarter av permisk alder, og det er ikke registrert store plutoner yngre enn perm i Norge eller nærliggende områder. Det virker derfor rimelig å foreslå en permisk alder for anomalibergartene. En tilsvarende aeromagnetisk anomali sør for Kristiansand er tidligere foreslått å være et mulig tertiært vulkansk senter (Åm 1973), men dette er tilbakevist av Jensen & Langnes (1992), som hevder at det i stedet sannsynligvis er en større permisk intrusjon. Tolkning av de marinmagnetometriske dataene samlet inn i 1991, sammen med evt. prøvetaking for petrografiske analyser og radiometriske aldersbestemmelser er imidlertid ønskelig for å eventuelt verifisere tolkningen av anomaliområdet som en permisk dypbergart.

Strukturelt domineres de paleozoiske overflatebergartene av en rekke NØ-SV orienterte skrenter, dels med klare normalbevegelser, og hovedmengden av skrentene antas derfor å representere normalforkastninger. Pga. manglende seismisk penetrasjon, er det ikke mulig å estimere spranget langs forkastningene. Åpne syn- og antiklinaler (Fig. 5), og til dels monoklinaler, har akseplantraser som løper dels subparallelt med skrentene, dels har de en mer NNØ-SSV-lig orientering (Tegning 92.222-02). Kaledonsk (sensilurisk-tidligdevonsk) eller Solundisk (sendevonsk) orogen kompressiv deformasjon er ikke påvist i det prekambriske grunnfjellet langs Sørlandskysten nordvest for dette området. Det er derfor nærliggende å tolke disse meget åpne foldestrukturene som dannet i tilknytning til forkastningsaktiviteten.

Mesteparten av forkastningsaktiviteten ser ut til å ha foregått i pre-triassisk tid. Dette vises ved at undergrensen for triassekvensen kutter forkastede og skråstilte lag i de paleozoiske overflatebergartene (Fig. 6). Dette stemmer godt med Ro et al. (1990a), som har tolket forkastningsaktiviteten langs nordvestflanken av Skagerrakgraben til å ha foregått i senpaleozoiske tid.



Figur 5: Paleozoiske overflatebergarter foldet i en åpen synklinal. Snittlengde ca. 5 kilometer. for lokalisering, se tegning 92.222-01, -02.



**Figur 6:** Triassiske sedimentære bergarter overlirer forkastede og skråstilte paleozoiske bergarter. Merk at en forkastning også påvirker triasbergartene - dette kan være reaktivisering av en eldre forkastning. Snittlengde ca. 5,5 kilometer. For lokalisering, se tegning 92.222-01,-02.

## 6 UTBREDELSE AV OG STRUKTURELL UTVIKLING INNEN DE MESOZOISKE SEDIMENTÆRE BERGARTENE, NORDØSTRE SKAGERRAK

Den mesozoiske sekvensen i undersøkelsesområdet omfatter triassiske og jurassiske sedimentære bergarter (Van Weering 1982, Hamar et al. 1983). Undergrensen for triasbergartene er en vinkeldiskordans som overleirer skråstilte og forkastede tidlig- til senpaleozoiske overflatebergarter (Ro et al. 1990a). Grunnet høyere oppløsning på seismikken og et tettere nett kan det vises at de mesozoiske bergartene har en større utbredelse enn tidligere kjent - grensen kan flyttes ca. 10 kilometer mot nordvest i den vestlige delen av området.

Den mesozoiske sekvensen er seismisk karakterisert av stort sett plane, regelmessige, parallelle, utholdende reflektorer. Det er ikke observert noen brudd i lagrekken.

Strukturelt sett er de mesozoiske bergartene påvirket av diskrete normalforkastninger og monoklinale fleksurer i forskjellig skala.

Normalforkastningene er orientert N-S til NØ-SV, og har sprang opptil 140 ms (toveis gangtid, ca. 150 meter). Det er alltid blokken på vestsiden av forkastningene som har falt ned. Alderen på forkastningene er det vanskelig å si noe om, utover at de er post-triassiske. Fra sørvestlige deler av Skagerrak, i Farsundbassenget, er det imidlertid kjent at eldre forkastninger ble reaktivert i jurassisk tid (Hamar et al. 1983), og det er mulig at begrenset forkastningsaktivitet også har foregått i nordøstlige deler av Skagerrak i dette tidsrommet.

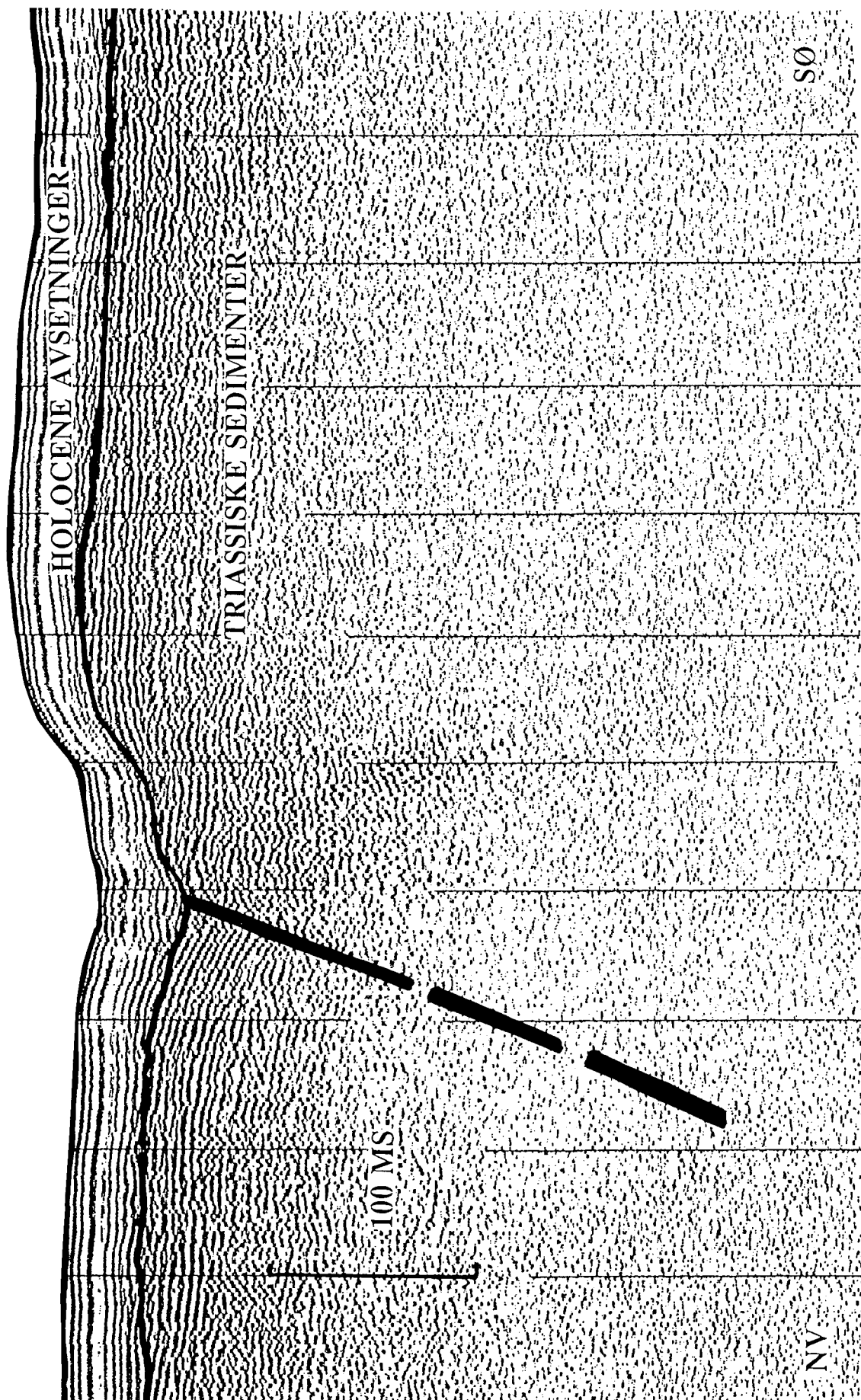
Stedvis danner forkastningene skrenter på havbunnen som i liten grad ser ut til å være påvirket av erosjon (Fig. 7). Alderen på disse skrentdannende forkastningene er ukjent, men man skal ikke se bort fra at de kan være ganske unge. Vanligvis er relieffet knyttet til forkastningene nedslitt (Fig. 8).

Fleksurene varierer i skala fra noen hundre meter, og opp til en som har en ombøyningssone på flere kilometer. Denne store fleksuren ligger 7 - 10 kilometer fra nordvestgrensen av den mesozoiske sekvensen (Fig. 8), og markerer overgangen fra subhorizontale eller svakt undulerende til sørøstfallende reflektorer over en strekning på ca. 2 kilometer. Etterhvert flater reflektorene ut igjen, og nærmer seg en subhorizontal stilling. Geografisk faller fleksuren sammen med den dypereleggende nordvestre marginalforkastningen for Skagerrak-grabenen (Ro et al. 1990a). Det er nærliggende å foreslå at denne strukturen er tilknyttet post-triassisk innsynkning av marginalforkastningens hengblokk.

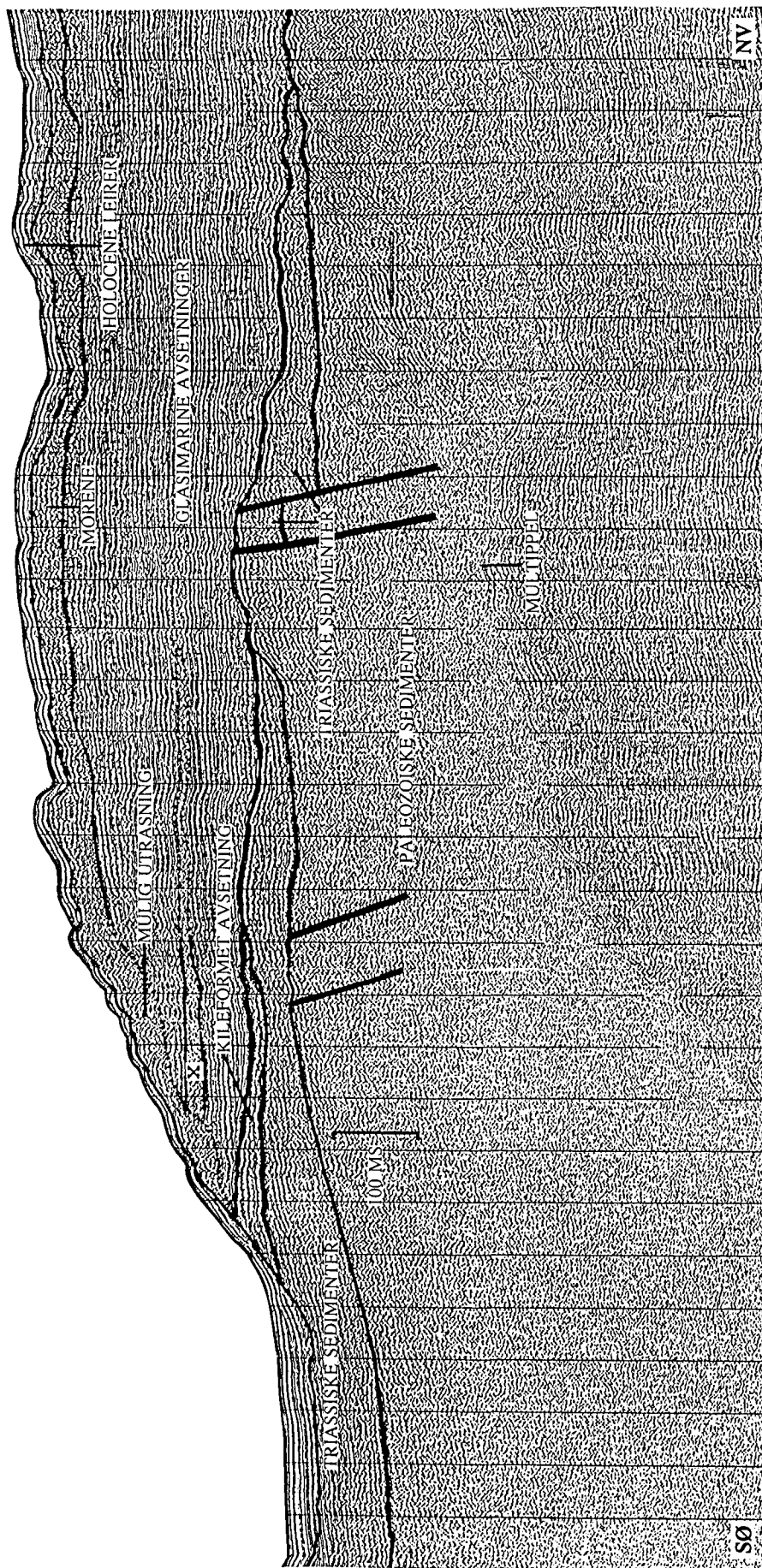
Grenseflaten mellom de paleozoiske overflatebergartene og de mesozoiske sedimentære bergartene er kartlagt i de grunnere nordvestlige og nordlige deler, og forsøkt fulgt mot de dypere, sørøstlige deler. Dette kartet (Tegning 92.222-03) viser at den paleozoiske-mesozoiske grenseflaten har form av et bredt traue, som i grove trekk samsvarer med Skagerrak-

grabenens og Norskerennas form (det må understrekes at grenseflaten ligger dypt i forhold til den seismiske penetrasjonen som oppnås med den instrumenteringen som er benyttet, og dataene for de sørøstlige deler må regnes som usikre). Et kart over mektigheten til de mesozoiske sedimentære bergartene er vist på tegning 92.222-04.

De mindre fleksurene har ombøyningssoner opptil 500 meter, og finnes i sentrale og sørøstlige deler av det brede trauet. Samtlige viser en relativ bevegelse ned mot nordvest. Det foreslås at disse fleksurene er tilknyttet mindre reaktiveringer av dypere liggende, senpaleozoiske forkastninger dannet i forbindelse med Skagerrakgrabenen.



Figur 7: Forkastning i triassiske sedimentære bergarter med tilknyttet skrent på havbunnen som kan indikere unge bevegelser langs forkastningen. Snittlengde ca. 3 kilometer. For lokalisering, se tegning 92.222-01,-02.



Figur 8: Paleozoiske og triassiske bergarter overliret av "kileformet avsetning" med usikker alder, og antatte plio-pleistocene? til holocene løsmasser. Legg merke til fleksurell nedbøying av grenseflaten mellom de paleozoiske og triassiske bergartene i venstre del av figuren, ut mot Norskerenna. Snittlengde ca. 10 kilometer. For lokalisering, se tegning 92.222-01,-02.



## 7 ENHETER AV USIKKER ALDER LANGS NORSKERENNA

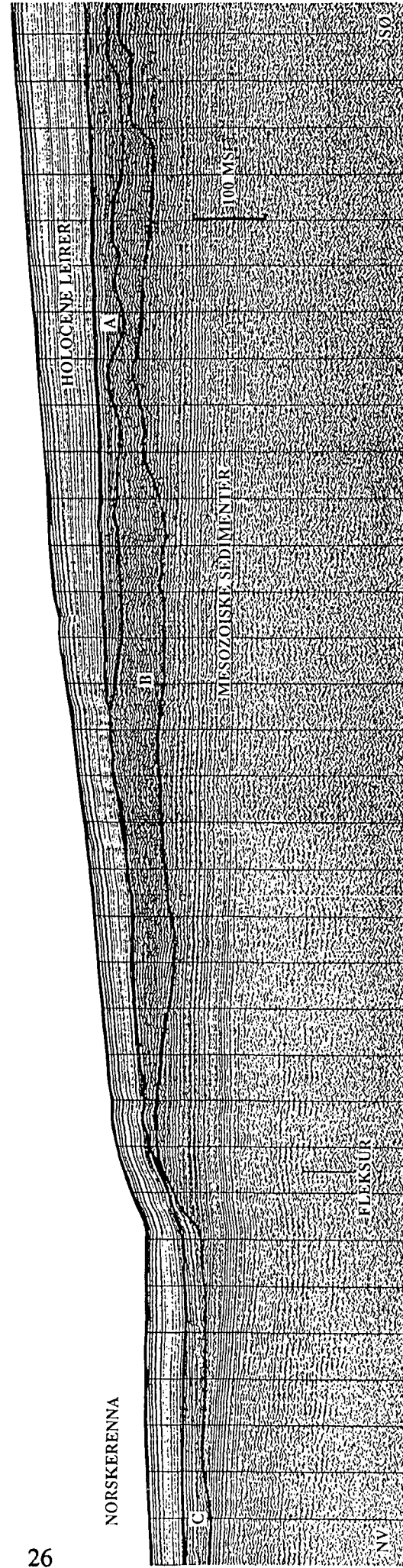
### 7.1 Kaotisk enhet på sørøstflanken av Norskerenna

I den sørøstlige delen av undersøkelsesområdet (Tegning 92.222-02) ligger en dels kaotisk seismisk enhet som er av usikker alder. Enheten kiler ut mot nordvest langs sørøstskråningen av Norskerenna, og fortsetter ut av undersøkelsesområdet mot sørøst. Mektigheten er opptil 150 ms (toveis-gangtid). Et typisk tverrsnitt er vist i Fig. 9. Ettersom den kaotiske enheten har en usikker alder, beskrives alle seismiske sekvenser som kan skilles ut, inkludert kvartære løsmasser.

- øverst ligger 40 - 120 ms mektig transparent, ensartet, lagdelt seismisk sekvens som kan antas å være holocene leirer, som draperer over underlaget.
- under denne ligger en 0 - 60 ms mektig sekvens (A) som stort sett er lagdelt, mindre transparent enn den øverste sekvensen. Undergrensen er uregelmessig, og sekvensen ser ut til å være avsatt i brede groper og traue.
- den kaotiske sekvensen (B) er 0 -70 ms mektig, lite transparent, og med usammenhengende og undulerende reflektorer. Stedvis sees "linser" (20 - 30 ms mektige, flere hundre meter lange) av mer sammenhengende reflektorer. Undergrensen for den kaotiske enheten er meget uregelmessig med en rekke groper og traue.
- i Norskerenna ligger en 40-60 ms mektig sekvens (C) som er kjennetegnet ved intern lagdeling og regelmessige reflektorer.
- undergrensen for den kaotiske enheten samsvarer i grove trekk med grensen mellom tidlig- til mellomjurassiske, og senjurassiske sedimentære bergarter (manuskart 1:250.000 ARENDAL, basert på kart fra Brekke, H. - Oljedirektoratet). Reflektorene under den kaotiske sekvensen er regelmessige, subhorisontale, og stort sett sammenhengende.

De to øverste sekvensene (A og C) må antas å være kvartære. Alderen på den kaotiske sekvensen (B) er derimot usikker. Den kaotiske signaturen kan tyde på at det er moreneaktige eller utraste løsmasser, men sammenlikning med antatte moreneavsetninger langs nordvestsiden av Norskerenna viser få likhetstrekk. Salge & Wong (1988) har beskrevet slumpavsetninger (utraste løsmasser) dannet proksimalt i forhold til et senpleistocent deltasystem sørvest for området omhandlet i denne rapporten. Det er mulig at den kaotiske sekvensen er en del av disse slumpavsetningene.

Alternativt er den kaotiske sekvensen av senjurassisk alder, slik grensene på ARENDAL-kartbladet antyder. I Danmark er det kjent midt- til senjurassiske sedimentære bergarter, hvor konglomerater er tolket som "gravity flows", muligens knyttet til synsedimentær forkastningsaktivitet eller halokinese (Koch 1983). Det kan derfor ikke utelukkes at den kaotiske sekvensen representerer senjurassiske slumpavsetninger.



**Figur 9:** Mesozoiske sedimentære bergarter overliret av en seismisk sekvens med usikker alder (B), og plio-pleistocene? til holocene løsmasser (sekvens A og C, samt "HOLOCENE LEIRER"). Snittlengde ca. 9,5 kilometer. For lokalisering, se tegning 92.222-01,-02.

For å få sikrere tolkninger mht. til alder og avsetningsmåte for den kaotiske sekvensen, er det ønskelig med seismiske linjer som kan knytte området sammen med området hvor Salge & Wong (1988) har identifisert sine slumpavsetninger.

## 7.2 Sedimentkile langs nordvestsiden av Norskerenna

I tilknytning til skråningen langs nordvestsiden av Norskerenna, ligger en sedimentær sekvens av usikker alder og opprinnelse. Tegning 92.222-02 viser at avsetningen strekker seg over minst 40 kilometer i NØ-SV retning. I nordøstlige deler er avsetningen en ca. 2 kilometer bred rygg, som er 30 - 60 ms mektig. I sørvestlige deler øker mektigheten til opptil 100 ms, og avsetningen har form av en opptil 3 kilometer bred kile. Kileformen er sannsynligvis dannet ved at ryggen er blitt utsatt for erosjon langs sørøstsiden - altså den delen som ligger mot Norskerenna. I Fig. 8 vises et tverrsnitt, hvor sedimentkilen er overleiret av en opptil 250 ms mektig terrasse med løsmasser av mulig senpliocen? til pleistocen alder, med en overliggende pakke av antatt holocen alder. Terrassen og underlaget består av følgende seismiske sekvenser:

- øverst ligger den antatte holocene pakken som er 10 - 40 ms mektig, transparent, ensartet, lagdelt og som draperer over underlaget.
- i tilknytning til terrassen, men ikke i Norskerenna, ligger en 20 - 50 ms mektig sekvens preget av kaotiske interne refleksjoner og hyperboliske diffraksjoner ("morene" og "mulig utrasning". Både overflaten og undergrensen for sekvensen er uregelmessig, og undergrensen er stedvis klart erosiv. Grenseforhold og seismisk signatur gjør at denne sekvensen tolkes som moreneaktige løsmasser, eventuelt modifisert av utrasning langs skråningen mot Norskerenna.
- hoveddelen av terrassen utgjøres av lagdelte løsmasser ("glasimarine avsetninger") med regelmessige, sammenhengende, svakt undulerende reflektorer som "pålapper" det undulerende underlaget av paleozoiske og triassiske sedimentære bergarter, samt sedimentene i "sedimentkilen". Det kan foreslås at dette er muligens senpliocene? til pleistocene glasimarine avsetninger, men prøvetaking/nærmere undersøkelser må gjøres for å få en sikker alder og dannelsesmåte for disse avsetningene. Et tynt lag ("X") med kaotiske interne reflektorer kan være moreneaktige avsetninger, eller evt. slumpavsetninger.
- sedimentkilen ("kileformet avsetning") er i dette profilet 0 - 35 ms mektig. Overgrensen for kilen heller svakt mot nordvest (mot land), mens undergrensen heller svakt mot sørøst (Norskerenna). Det ser ut til å være lavvinklet vinkeldiskordans mellom sedimentkilen og de underliggende sedimentære bergartene. De interne reflektorene i sedimentkilen er regelmessige og sammenhengende, og viser kileformen definert av over- og undergrensen. Begrensningen mot Norskerenna er sannsynligvis erosiv - reflektorene ser ut til å terminere mot bunnen av leirsekvensen. Det er muligens noe utrasninger langs denne grensen.

- under "sedimentkilen" ligger triassiske sedimentære bergarter, med regelmessige, sammenhengende reflektorer som faller jevnt ut mot Norskerenna (mot SØ). Omtrent der hvor sedimentkilen kiler ut mot NV, begynner de triassiske reflektorene å flate ut og blir i stedet subhorisontale og undulerende. Denne ombøyningen er del av en monoklinal fleksur som ser ut til å gå langs den nordvestlige skråningen av Norskerenna (se avsnitt 6 og Tegning 92.222-02).

Det er vanskelig å si sikkert om sedimentkilen er en del av løsmassene avsatt i senpliocen? til pleistocen tid, eller om de kan være eldre. Muligens kan avsetningen være en erosjonsrest av sedimentære bergarter avsatt i post-triassisk til pre-pleistocen tid, men dette må regnes som spekulasjoner før en har mer data. Bedre kontroll på utbredelsen og forhold til over- og underliggende enheter, spesielt sørvest for det området som ble undersøkt i 1991, kombinert med prøvetaking er meget ønskelig.

## 8 SAMMENDRAG

Berggrunnen i det undersøkte området består av prekambriske grunnfjellsbergarter, overleiret av hovedsaklig tidligpaleozoiske (kambro-siluriske) sedimentære bergarter. Disse intruderes av senpaleozoiske (permiske) dypbergarter. Den yngste enheten er mesozoiske (triassiske til jurassiske) sedimentære bergarter, som overleirer de tidligpaleozoiske sedimentære bergartene med en vinkeldiskordans.

De tidligpaleozoiske sedimentære bergartene kan følges fra land ved Langesund, via Langesundskanalen og ut i Skagerrak. Det ser ut til at Langesundskanalen kan deles i tre segmenter; et indre NV-SØ orientert segment som er lite kjent pga. manglende seismisk dekning, et midtre N-S orientert segment som kan være en grabenstruktur, og et ytre N-S orientert segment som kan være en halvgrabenstruktur. I Langesundskanalen er det en rekke N-S orienterte skrenter som antas å være normalforkastninger. En markert skrent løper langs østsiden av kanalen, og denne kan knyttes til en markert sprekkesone på land, samt sannsynligvis en normalforkastning som kutter triassiske bergarter. Det ser derfor ut som om Langesundskanalen følger forkastnings- og sprekkestrukturer, som i hvert fall delvis er utviklet i post-triassisk tid. Om disse følger tidligere bruddsoner knyttet til dannelsen av Oslo- og Skagerrakgrabenen eller enda eldre er ikke kjent, men kan regnes som ganske sannsynlig. Dagens utforming er imidlertid i stor grad resultat av erosjon knyttet til glasiasjon og deglasiasjon i senpliocen?-pleistocen-holocen tid.

I området utenfor Arendal-Risør er orienteringen på skrenter og normalforkastninger mer NNØ-SSV, selv om N-S orienterte bruddsoner kan finnes også her. Åpne syn- og antiklinaler har akseplantraser som er parallelle eller subparallelle med disse strukturene. Det antas at foldestrukturene er dannet i tilknytning til forkastningstektonikk, ikke som følge av orogen kompressiv tektonikk. Området ligger på nordvestflanken av Skagerrakgrabenen, og det må antas at strukturene er knyttet til dannelsen av denne i senpaleozoisk tid.

De senpaleozoiske permiske dypbergartene som intruderer tidligpaleozoiske bergarter på land ser ut til å fortsette ca. 40 km ut mot Skagerrak. Begrensningen mot grunnfjellsbergarter i øst er usikker, men kan sannsynligvis fastsettes ved tolkning av de innsamlede magnetiske dataene. Et mindre område i den ytre del av Langesundskanalen er tolket som en geomorfologisk og delvis strukturelt kontrollert høyde med dypbergarter, skilt fra hovedlegemet av post-triassiske forkastninger. En strukturell dom med tilknyttede magnetiske anomalier langs grensen mellom grunnfjell og paleozoiske bergarter utenfor Risør er forslagsvis tolket som en permisk intrusjon, i motsetning til tidligere tolkninger som går ut på at det er en tertiær vulkan.

De mesozoiske bergartene ligger med en vinkeldiskordans over forkastede og skråstilte paleozoiske bergarter. Undersøkelsene har vist at undergrensen for disse bergartene kan

trekkes lengre inn mot land i forhold til det som tidligere var kjent. En del N-S til NØ-SV orienterte normalforkastninger med sprang i størrelsesorden 100 til 150 m er observert. Disse kan muligens knyttes til jurassisk tektonikk kjent utenfor undersøkelsesområdet, eller de kan være yngre. I tillegg finnes en del større og mindre fleksurer som kan være dannet i forbindelse med innsynkning langs dypereleggende forkastninger. Enkelte forkastninger danner skrenter på havbunnen, og disse er kandidater for helt unge (neotektoniske) forkastninger.

To seismiske sekvenser med usikker alder og dannelse er observert. En av disse sekvensene er områdemessig knyttet til den nordvestre marginalforkastningen for Skagerrakgrabenen, i utkanten av en mektig terrasseformet løsmasseavsetning. Den andre sekvensen ligger langs sørøstflanken av Norskerenna. Videre undersøkelser (seismikk og prøvetaking) er nødvendige for å avgjøre om dette kan være sedimentære bergarter (mesozoiske eller tertiære?), eller løsmasser (plio-pleistocene?).

Relativt store mengder av antatt biogen grunn gass i løsmasser er observert i den nordøstligste del av undersøkelsesområdet hvor berggrunnen utgjøres av permiske dypbergarter eller grunnfjellsbergarter.

## 9 REFERANSER

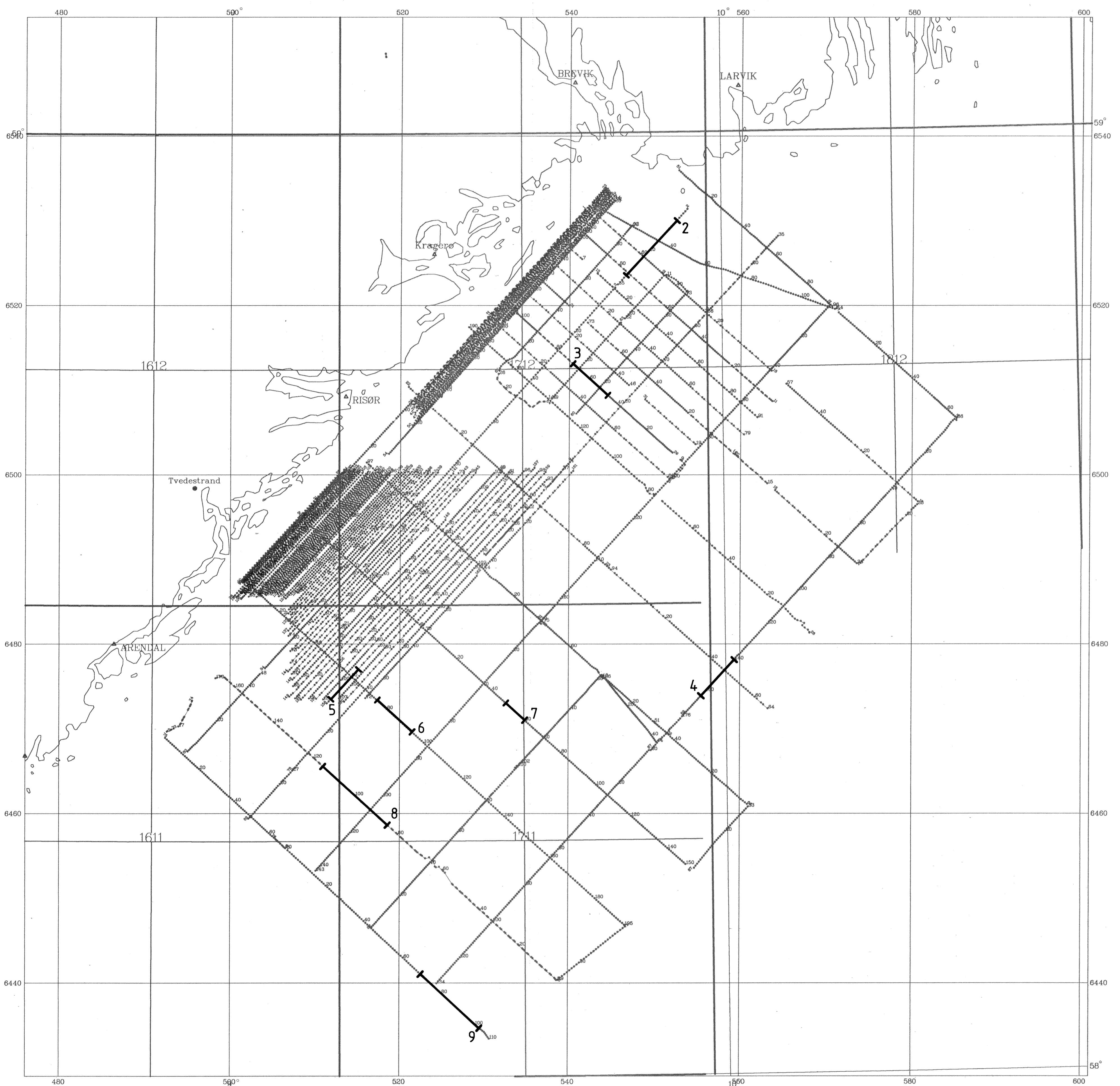
- Bjørlykke, K. 1974: Depositional history and geochemical composition of Lower Palaeozoic epicontinental sediments from the Oslo Region. *Norges geologiske undersøkelse*, 305, 1-81.
- Bjørlykke, K. 1983: Subsidence and tectonics in Late Precambrian and Palaeozoic sedimentary basins. *Norges geologiske undersøkelse*, 380, 159-172.
- Bockelie, J.F. & Nystuen J.P. 1985: The southeastern part of the Scandinavian Caledonides. I: Gee, D.G. & Sturt, B.A. (red.), *The Caledonide Orogen - Scandinavia and related areas*. John Wiley, Chichester, 69-86.
- Bungum, H., Alsaker, A., Kvamme, L.B. & Hansen, R.A. 1991: Seismicity and seismotectonics of Norway and nearby continental shelf areas. *Journal of Geophysical Research*, 96, 2249-2265.
- Bøe, R., Olsen, H.A., Thorsnes, T., Torsvik, T. & Øverby, L. 1991: Maringeologisk/geofysisk tokt nr. 9101 i Skagerrak 1991, toktrapport. *NGU Rapport 91.014*, 32s.
- Floden, T. 1973: Notes on the bedrock of the eastern Skagerrak, with remarks on the Pleistocene deposits. *Stockholm Contrib. Geol.*, XXIV, 79-102.
- Hamar, G.P., Fjæran, T. & Hesjedal, A. 1983: Jurassic stratigraphy and tectonics of the south-southeastern Norwegian offshore. I: Kaaschieter, J.P.H. & Reijers, T.J.A. (red.s): *Petroleum geology of the southeastern North Sea and adjacent onshore areas*. *Geol. Mijnbouw*, 62, 135-144.
- Henningsmoen, G. 1978: Sedimentary rocks associated with the Oslo Region lavas. I: J.A. Dons & B.T. Larsen (red.), *The Oslo Paleorift: A review and guide to excursion*. *Norges geologiske undersøkelse*, 337, 17-24
- Jensen, L.N. & Langnes, O. 1992: Obituary: The Tertiary Skagerrak volcano. I: Geirsdottir, A., Norddahl, H. & Helgadottir, G. (red.): *Abstracts: 20th Nordic Geological Winter Meeting, 7 - 10 January, Reykjavik 1992*, 133. *The Icelandic Geoscience Society and the faculty of Science, University of Iceland, Reykjavik*.
- Koch, J.O. 1983: Sedimentology of Middle and Upper Jurassic sandstone reservoirs of Denmark. I: Kaaschieter, J.P.H. & Reijers, T.J.A. (red.), *Petroleum geology of the southeastern North Sea and adjacent onshore areas*. *Geol. Mijnbouw*, 62, 115-129.
- NGU 1985: Aeromagnetisk kart, Arendal, M. 1:250.000. *Norges geologiske undersøkelse*.
- Nystuen, J.P. (red.) 1986: Regler og råd for navnsetting av geologiske enheter i Norge. Av Norsk stratigrafisk komite. *Norsk Geologisk Tidsskrift*, 66, 1-96.
- Oftedahl, Chr. 1960: Permian rocks and structures of the Oslo region. I: O. Holtedahl (red.), *Geology of Norway*. *Norges geologiske undersøkelse*, 208, 298-343.
- Olaussen, S. 1981: Marine incursion in Upper Palaeozoic sedimentary rocks of the Oslo Region, southern Norway. *Geological Magazine*, 118, 281-288
- Olsen, H.A. 1992: Kwartærgeologi, Skagerrak. Foreløpig tolkning av refleksjonsseismiske data fra den nordøstlige del av Skagerrak basert på data samlet inn i 1991. *NGU Rapport 92.220*.

- Owen A.W., Bruton D.L., Bockelie, J.F., Bockelie, T.G. 1990: The Ordovician successions of the Oslo Region, Norway. *Norges geologiske undersøkelse, Special publication no. 4*, 1-54.
- Ramberg, I.B. & Larsen, B.T. 1978: Tectonomagmatic evolution. I: J.A. Dons & B.T. Larsen (red.), The Oslo Paleorift: A review and guide to excursion. *Norges geologiske undersøkelse*, 337, 55-73
- Ramberg, I.B. & Smithson, S.B. 1975: Geophysical interpretation of crustal structure along the southeastern coast of Norway and Skagerrak. *Geological Society of America Bulletin*, 86, 769-774.
- Ribland Nilssen, I. 1985: Kartlegging av Langesundhalvøyas Kambro-ordovisiske avsetningslagrekke, intrusiver og forkastnings-tektonikk, samt fullført litostratigrafisk inndeling av områdets mellom-Ordovicium. *Upublisert Cand. scient.-oppgave, Universitetet i Oslo*, 176s.
- Ro, H.E., Stuevold, L., Faleide, J.I., & Myhre, A.M. 1990a: The Skagerrak Graben - the offshore continuation of the Oslo Graben. I: E.-R. Neumann (red.), Rift zones in the continental crust of Europe - geophysical, geological and geochemical evidence: Oslo-Horn Graben. *Tectonophysics*, 178, 1-10.
- Ro, H.E., Larsson, F.R, Kinck, J.J. & Husebye, E.S. 1990b: The Oslo Rift - its evolution on the basis of geological and geophysical observations. I: E.-R. Neumann (red.), Rift zones in the continental crust of Europe - geophysical, geological and geochemical evidence: Oslo-Horn Graben. *Tectonophysics*, 178, 11-28.
- Rohr-Torp, E. 1973: Permian rocks and faulting in Sandsvær at the western margin of the Oslo Region. *Norges geologiske undersøkelse, Bulletin 300*, 53-71.
- Salge, U. & Wong, H.K. 1988: Seismic stratigraphy and Quaternary sedimentation in the Skagerrak (Northeastern North Sea). *Marine Geology*, 81, 159-174.
- Sellevoll, M.A. & Aalstad, L. 1971: Magnetic and seismic profiling in the Skagerrak. *Marine Geophysical Researches*, 1, 284-302.
- Sigmond, E.M.O., Gustavson, M. & Roberts, D. 1984: Berggrunnskart over Norge - M 1:1 million - *Norges geologiske undersøkelse*.
- Solheim, A. & Grønlie, G. 1983: Quaternary sediments bedrock geology in the outer Oslofjord and northernmost Skagerrak. *Norsk Geologisk Tidsskrift*, 63, 55-72.
- Starmer, I.C. 1991: The Proterozoic evolution of the Bamble Sector shear belt, southern Norway: correlations across southern Scandinavia and the Grenvillian controversy. *Precambrian Research*, 49, 107-139.
- Størmer, L. 1953: The Middle Ordovician of the Oslo Region, Norway, 1. Introduction to stratigraphy. *Norsk Geologisk Tidsskrift*, 31, 37-141.
- Sundvoll, B., Neumann, E.-R., Larsen, B.T. & Tuen, E. 1990: Age relations along the Oslo Rift magmatic rocks: implications for tectonic and magmatic modelling. I: E.-R. Neumann (red.), Rift zones in the continental crust of Europe - geophysical, geological and geochemical evidence: Oslo-Horn Graben. *Tectonophysics*, 178, 67-87.
- Van Weering, T.C.E. 1982: Shallow seismic and acoustic reflection profiles from the Skagerrak; implications for recent sedimentation. *Proc. K. Ned. Akad. Wet.*,

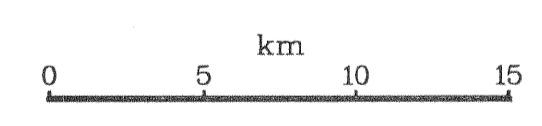


*Ser. B, 85(2), 129-152.*

Åm, K. 1973: Geophysical indications of Permian and Tertiary igneous activity in the Skagerrak. *Norges geologiske undersøkelse, 287, Bulletin 13, 1-25.*



M 1 : 250000

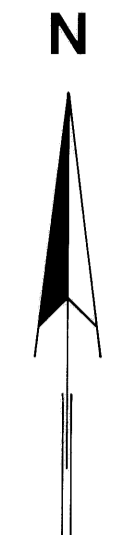
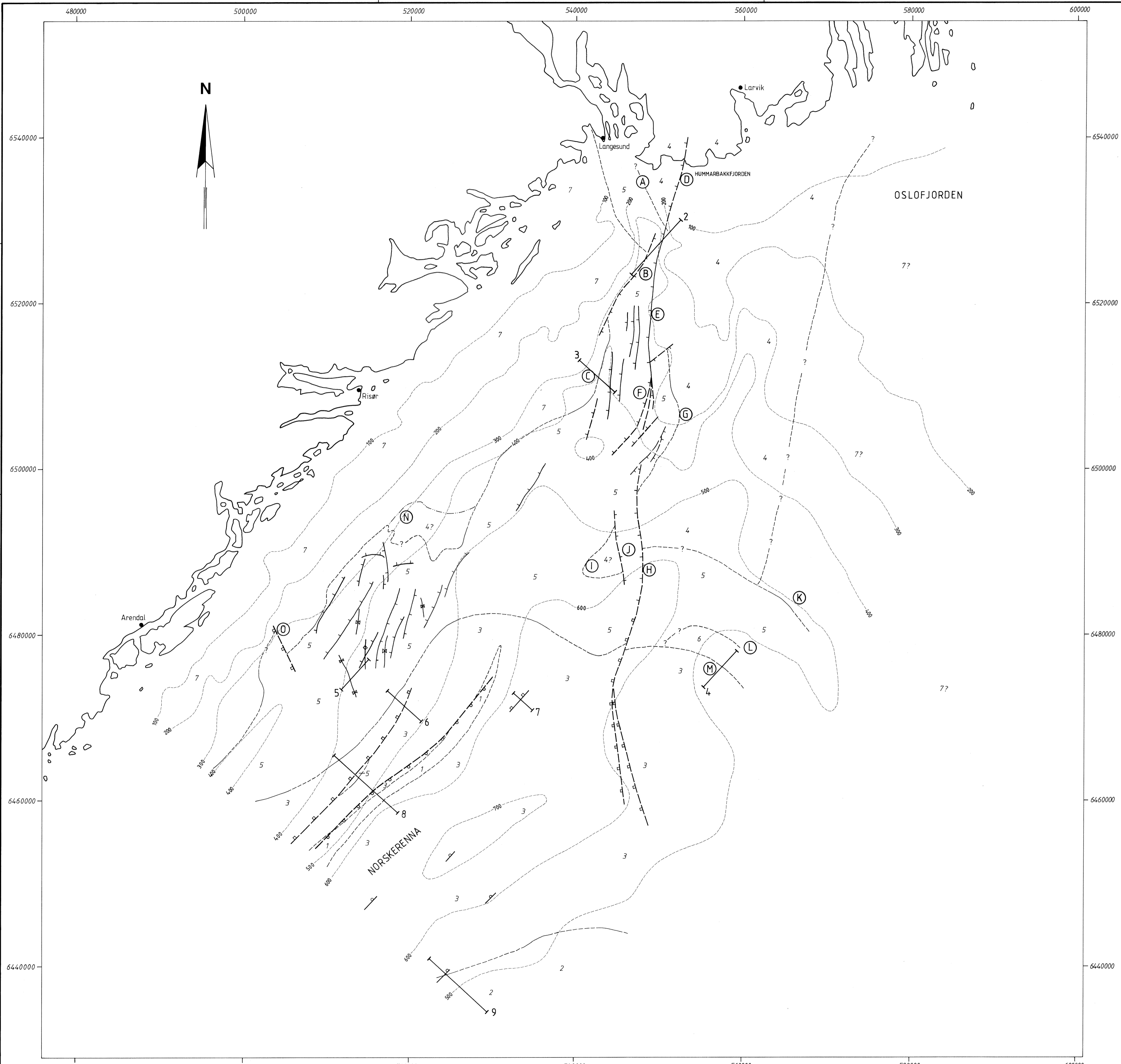


NGU 1991  
GEOLOGICAL SURVEY OF NORWAY

**TEGNFORKLARING**

- 51.....20..... GRUNNSEISMISK LINJE MED NUMMER OG POSISJONGANGVELSER
- ..... UTSNITT AV SEISMISK LINJE VIST I FIGUR 7

NGU - NSKV / OD / NP / SFT GRUNNSEISMISK LINJENETT, REFLEKSJONSEISMISK SKAGERRAK	MÅLESTOKK	MÅLT	JUNI 1991
	1:250 000	TEGN. TRAC.	
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM	TEGNING NR.	KARTBLAD NR.	
	92.222-01		



**TEGNFORKLARING**

**Seismiske sekvenser med usikker alder**

- 7 Lagdelt rygg eller kileformet avsetning
- 2 Avsetning med kaotiske interne reflektorer

**Bergarter fra jordens middeltid (mesozoikum)**

- 3 Sandstein med enkelte lag av kull- og leirstein (kystavsetninger, tidlig- og mellomjura); rødlig sandstein med tynne lag av silt- og leirstein (landavsetninger, trias)

**Bergarter fra jordens oldtid (paleozoikum)**

**Størkningsbergarter fra permiden**

- 4 Larvikitt, syenitt m.m. ? - antatt fra permiden

**Sedimentære bergarter, kambrium-karbon, vesentlig kambrosilur**

- 5 Sandstein, kalkstein, siltstein, leirskifer
- 6 Paleozoiske overflatebergarter, med uvanlig seismisk karakter (se beskrivelse)

**Grunnfjell, bergarter fra jordens urtid (vesentlig mellomproterozoikum)**

- 7 Granittisk gneis, migmatitt, metasediment, amfibolitt m.m.

--- Vanddypskontur

Ⓛ Lokalteter henvist i tekst

— Geologisk grense, bestemt ved refleksjonsseismikk

— Geologisk grense, bestemt ved magnetiske data

— Normalforkastning, utgående på havbunnen

— Skrent, antatt normalforkastning

— Forsenkning, knusningszone

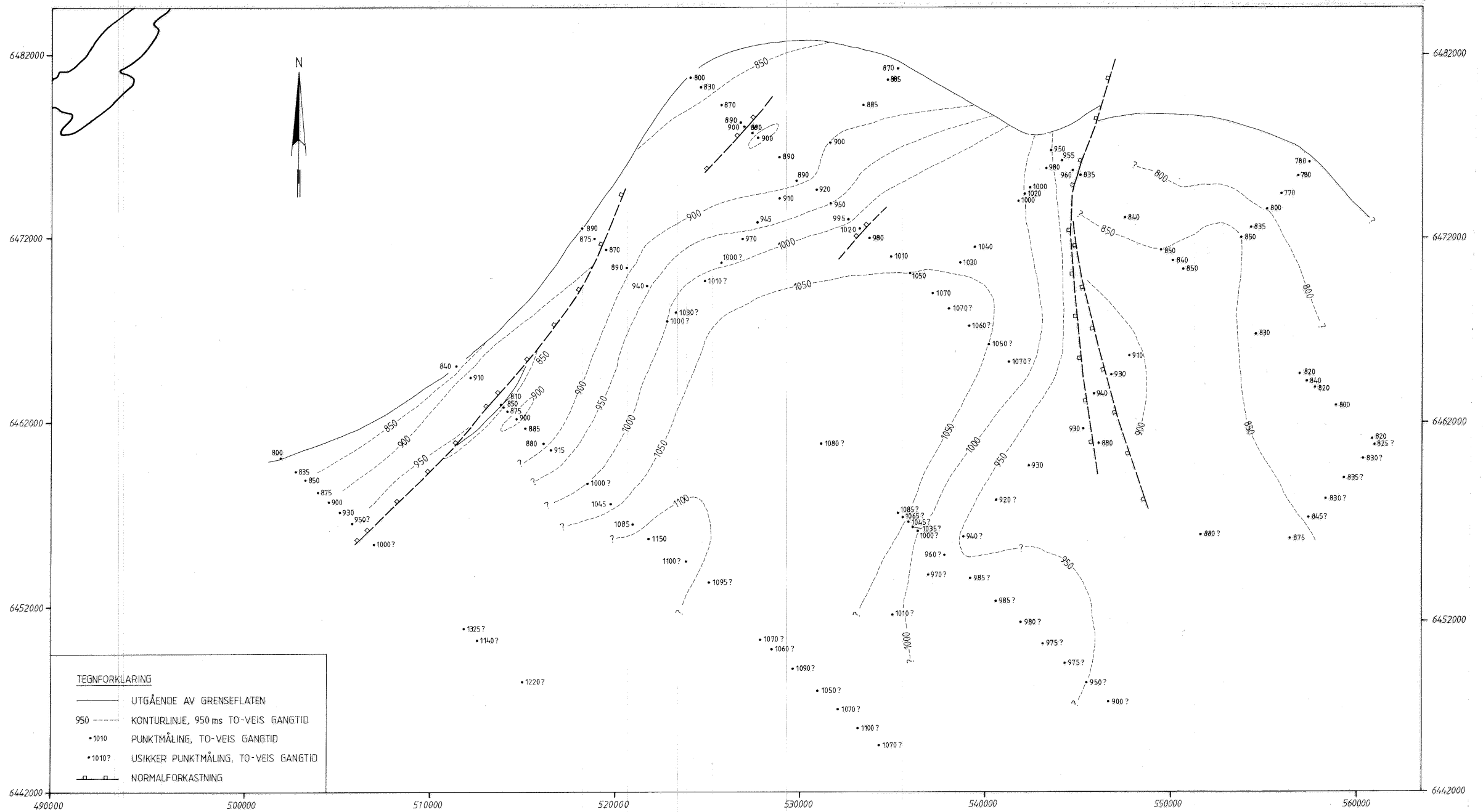
— Antiklinal

— Synklinal

— Monoklinal fleksur

— 17 Utsnitt av seismisk linje, figur 7

NGU - NSKV / OD / NP / SFT KART OVER UTGÅENDE BERGGRUNN SKAGERRAK	MÅLESTOKK	OBS.	MAI / JUNI - 91
	1:250 000	TEGN.	
		TRAC. IL	MAI 1992
		KFR. O. Lorange	
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM	TEGNING NR. 92.222-02	KARTBLAD NR.	

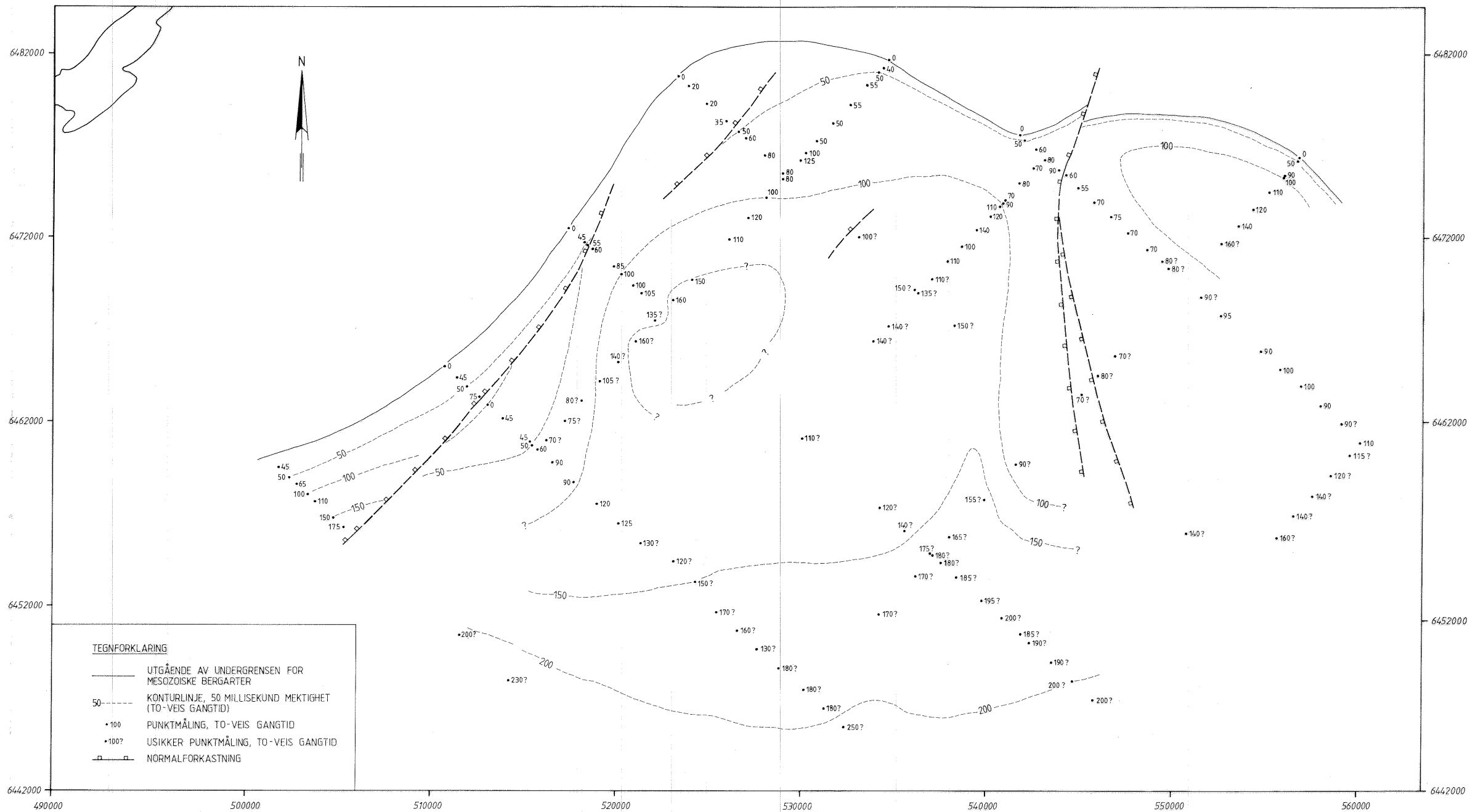


NGU - NSKV / OD / NP / SFT  
 KART OVER TO-VEIS GANGTID I MILLISEKUND FOR GRENSE-  
 FLATEN MELLOM PALEOZOISKE OG MESOZOISKE  
 SEDIMENTÆRE BERGARTER. SKAGERRAK

MÅLESTOKK	OBS.	
	TEGN.	
	TRAC. IL	MAI 1992
	KFR. <i>O. Longva</i>	

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE  
 TRONDHEIM

TEGNING NR.	KARTBLAD NR.
92.222-03	



- TEGNFORKLARING**
- UTGÅENDE AV UNDERGRENSEN FOR MESOZOISKE BERGARTER
  - - - 50 KONTURLINJE, 50 MILLISEKUND MEKTIGHET (TO-VEIS GANGTID)
  - 100 PUNKTMÅLING, TO-VEIS GANGTID
  - 100? USIKKER PUNKTMÅLING, TO-VEIS GANGTID
  - NORMALFORCASTNING



NGU - NSKV / OD / NP / SFT KART OVER MEKTIGHET FOR MESOZOISKE SEDIMENTÆRE BERGARTER I MILLISEKUND, TO-VEIS GANGTID. <b>SKAGERRAK</b>	MÅLESTOKK	
	OBS.	
	TEGN.	
	TRAC. IL	MAI 1992
	KER <i>O. Longva</i>	
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM	TEGNING NR. <b>92.222-04</b>	KARTBLAD NR.