

NGU Rapport 93.114

Tolkning av magnetometri og gravimetri  
i Skagerrak  
kartblad Arendal, M 1:250.000

Rapport nr. 93.114		ISSN 0800-3416	Gradering: Åpen	
Tittel: Tolkning av magnetometri og gravimetri i Skagerrak, kartblad Arendal, M 1:250.000				
Forfatter: Atle Sindre		Oppdragsgiver: NGU		
Fylke: Aust-Agder og Telemark		Kommune:		
Kartbladnavn (M=1:250.000) Arendal		Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000)		
Forekomstens navn og koordinater:		Sidetall: 11	Pris: kr 120	
		Kartbilag: 3		
Feltarbeid utført:	Rapportdato: 06.12.93	Prosjektnr.: 61.2454.00	Ansvarlig: <i>Jan S. Kvernøy</i>	
Sammendrag: I Skagerrak innenfor kartblad Arendal er det gjort beregninger av dypet til magnetisk basement og gravimetrisk modellering langs et profil loddrett på kysten. Datagrunnlaget er NGUs databaser for gravimetri og aeromagnetiske målinger. To nedsenkninger i basement med dyp på ca. 3000-4000 m er påvist med en mellomliggende ca. 1000 m dyp oppvelving. Gropene er fylt med lette sedimentære bergarter. Resultatene samsvarer bra med en Skagerrak Graben, men de gravimetriske og magnetiske målingene indikerer at kanten av Skagerrak Graben ligger ca. 10 km nærmere kysten enn Ro o.a.(1990) angir. Den store positive gravimetriske anomalien langs kysten forklares ved Bamble-komplekset alene.				
Emneord:	Magnetometri			
Geofysikk	Gravimetri			
	Modellforsøk		Fagrapport	

## INNHOOLD

	Side
1	INNLEDNING ..... 4
2	MAGNETISKE BEREGNINGER ..... 5
3	GRAVIMETRI ..... 5
4	DISKUSJON ..... 9
5	KONKLUSJON ..... 10
6	REFERANSER ..... 11

## VEDLEGG

Fig. 1 Magnetisk residualfelt, referanse DGRF 1965. Relieffkart med belysning fra øst, NGU (1993). Beregnet dyp til magnetisk basement i Skagerrak.

Fig. 2 Magnetisk strukturkart (Sindre 1992). Dyp til magnetisk basement.

Fig. 3 Gravimetrisk Bougueranomali kart, NGU (1990). Beregnet dyp til magnetisk basement i Skagerrak. Gravimetrisk tolkning gjort langs profil A, (Fig. 4 og 5). Skagerrak Graben (SG) fra Ro o.a.(1990).

## 1 INNLEDNING

Dette er en videreføring av arbeid som tidligere ble gjort på land, og som er beskrevet i NGU rapport 92.213. Det er der utarbeidet et magnetisk strukturkart og gjort petrofysiske undersøkelser for landdelen av kartblad Arendal, M 1:250 000. To store regionale skjærsoner og mange mindre ble kartlagt. Hovedretningene i området er NØ-SV og NV-SØ. Sammenheng mellom magnetittinnhold og metamorfosegrad for gneisene i Bamblekomplekset ble påvist, med en økende overvekt av høy metamorfosegrad mot kysten.

Det er i dette arbeidet gjort en tolkning og modellering fra kysten og ut i Skagerrak av de aeromagnetiske og gravimetriske data fra NGU's databaser. Datagrunnlaget er tidligere publisert i form av aeromagnetisk anomalikart (NGU 1993), og gravimetrisk Bougueranomali-kart (NGU 1992).

Det er gjort en automatisk beregning av dypet til magnetisk basement, og kotekart for dette dypet er tegnet. Videre er det gjort en gravimetrisk modellering langs et profil diagonalt over kartbladet loddrett på kysten sørøstover i Skagerrak. Dataprogrammene som er brukt er utarbeidet på NGU av Smethurst (1992) og Torsvik (1992). En bruker i denne rapporten benevnelsene Bamblekomplekset og Agderkomplekset på de to hovedgruppene av bergarter innenfor Arendalkartbladet.

Det har i lang tid vært stor interesse for geologien i Skagerrak, og serlig har de seismiske målingene utført av forskningsfartøyet Mobil Search i 1987 gitt mye ny informasjon, med påvisning av en grabenstruktur i Skagerrak (Ro o.a.1990). Skagerrak Graben blir kommentert sammen med resultatene av de magnetiske og gravimetriske tolkningene.

## 2 MAGNETISKE BEREGNINGER

Fra NGUs magnetiske database, som består av et 500 x 500 m grid, ble det plukket ut 34 profil som krysser veldefinerte anomalier. Dette ble gjort ved hjelp av dataprogrammet GDB2 (Smethurst 1992). Disse profilene ble brukt til en automatisk beregning av dypet til den magnetiske anomaliårsaken ved hjelp av dataprogrammet IMP (Torsvik 1992). Resultatene er tegnet opp på det magnetiske anomalikartet i Fig.1, hvor de beregnede dypene er gitt i km. Dybdekoter er tegnet for 500 m dyp og videre for hver hele 1000 m.

Anomaliene, og derved dybdebestemmelsene, er ujevnt fordelt. Dette gjør kotetrekkingen problematisk, og kartet må i høy grad betraktes som utjevnet og regionalt. Nøyaktigheten på beregningene er heller ikke stor, og det gir en viss rett til å glatte kotene ut til et regionalt (i grove trekk) kart. Det største problemet er at det grunne området ute i Skagerrak har lite anomalier, noe som gjør at kotetrekkingen her blir mer skjønnsmessig enn ellers.

Kotekartet indikerer at magnetisk basement danner et dypt traue eller renne parallelt med kysten med et dyp på mer enn 3000 m. Lenger ute grunner det opp til ca. 1000 m. Videre utover blir det dypere igjen, ca. 4000 m. Her ender NGU's systematiske datanett, men noen magnetiske beregninger lenger øst indikerer at basement grunner opp igjen.

For å få et samlet bilde av tolkningene er de magnetiske dybdeberegningene i Skagerrak stilt sammen med det magnetiske strukturkartet for landdelen av området (Sindre 1992) i Fig.2.

## 3 GRAVIMETRI

De gravimetrisk data i NGU's database er samlet inn av mange forskjellige norske og utenlandske forskere. Målingene til havs er nivåjustert av AMAROK. Bougueranomali kart er laget av NGU (NGU 1992). I Fig.3 har en på dette kartet lagt inn resultatene av de magnetiske beregningene.

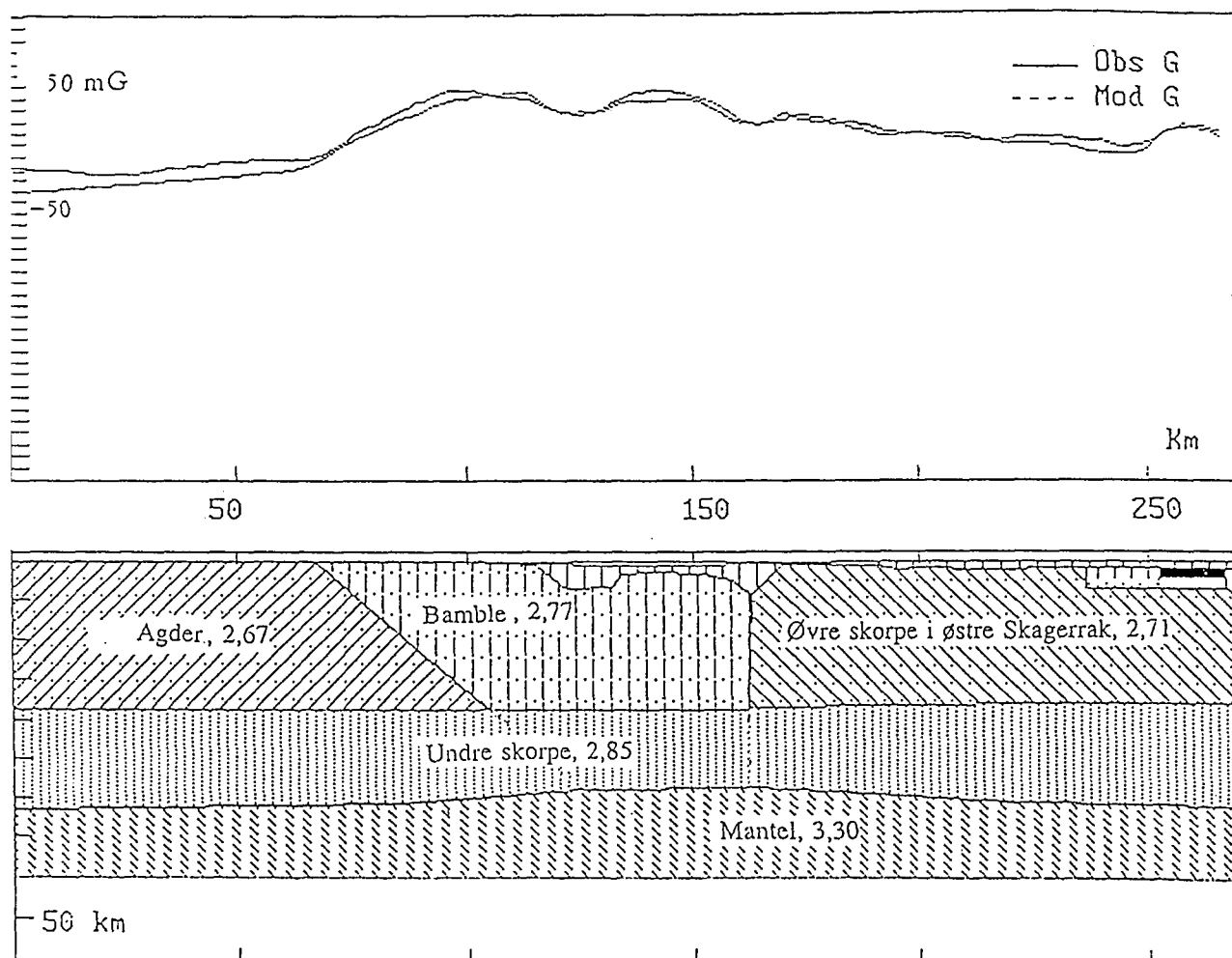
Det vises her tydelig at dypet til magnetisk basement har en avgjørende innvirkning på tyngdefeltet. De dype gropene i basement må være fylt med lette sedimentære bergarter og gir negative gravimetrisk anomalier. Der basement ligger grunt, gir de tyngre bergartene en positiv anomali midt ute i Skagerrak.

Sammenligner en det magnetiske strukturkartet, Fig.2, med det gravimetrisk, Fig.3, vil en se at Bamblekomplekset, virker sterkt inn på gravitasjonsfeltet. Grensen mellom Bamble- og Agder-komplekset, Kristiansand - Porsgrunn forkastningen (KP), kommer fram i det

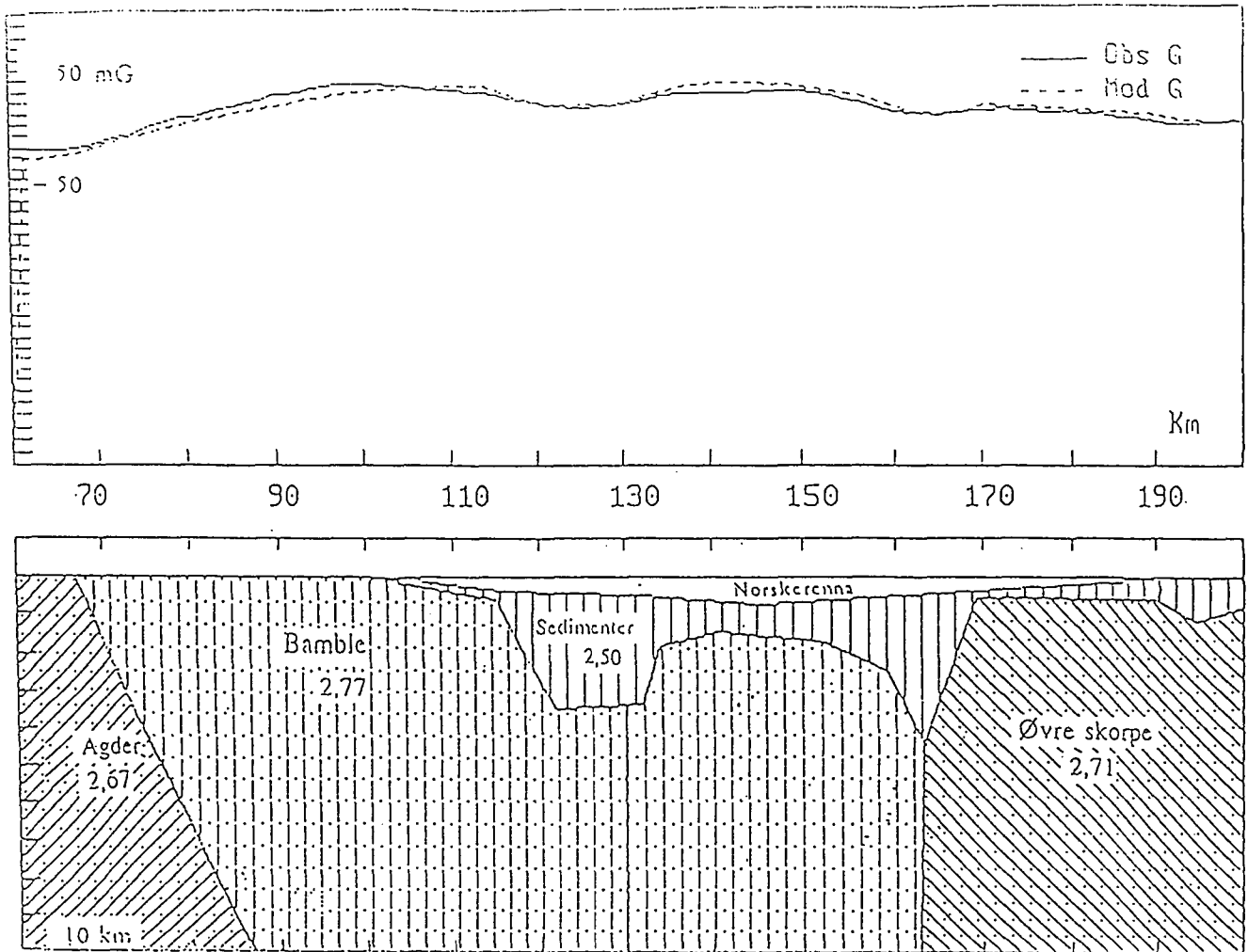
magnetiske strukturkartet som en regional, tydelig magnetisk dislokasjon som deler landdelen av kartet i to. Her og videre sørøstover øker gravitasjonsfeltet raskt mot kysten.

Resultatene fra de magnetiske tolkningene blir brukt i arbeidet med en gravimetrisk modell. Resultatene av seismiske målinger i Skagerrak (Ro o.a. 1990, Lie o.a. 1993 og Lie og Husebye 1993) har også vært til hjelp i arbeidet med å bygge opp modellen.

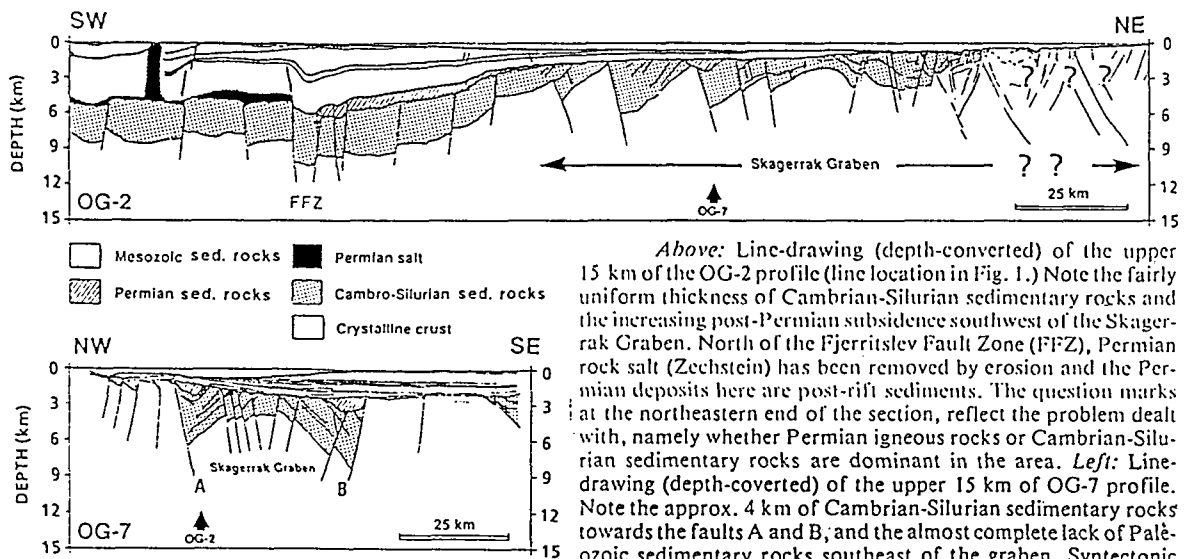
De gravimetriske modellberegningene er gjort langs profil A i Fig.3. Modelleringsprogrammet IMP (Torsvik 1992) ble brukt. Resultatene er vist i Fig. 4 og 5.



**Figur 4.** Tolkning av gravimetrisk profil Arendal-Skagerrak (profil A i Fig. 3). Datagrunnlag er Bougueranomaliverdier tatt fra NGU's database. I modelleringen er det tatt hensyn til de beregnede dyp til magnetisk basement (krystallinske bergarter), se Fig. 1, og en grense mellom Agder- og Bamblekomplekset som heller mot sørøst, påvist ved seismiske målinger, Lie og Husebye (1993). Densiteter i modellen er: Sedimentære bergarter i Skagerrak slått sammen til en enhet,  $2,50 \text{ g/cm}^3$ . Granitt i sørøst,  $2,65$ . Tung kropp i sørøst,  $2,99$ . Agderkomplekset,  $2,67$ . Bamblekomplekset,  $2,77$ . Øvre skorpe i østre Skagerrak,  $2,71$ . Undre skorpe,  $2,85$ . Mantel,  $3,30$ .



Figur 5. Detaljert utsnitt av gravimetrisk modell, Fig. 4. Beregnet (Mod G) og observert (Obs G) anomalikurve. Densitet angitt i  $g/cm^3$ . Ulik horisontal og vertikal målestokk.



Above: Line-drawing (depth-converted) of the upper 15 km of the OG-2 profile (line location in Fig. 1.) Note the fairly uniform thickness of Cambrian-Silurian sedimentary rocks and the increasing post-Permian subsidence southwest of the Skagerrak Graben. North of the Fjerritslev Fault Zone (FFZ), Permian rock salt (Zechstein) has been removed by erosion and the Permian deposits here are post-rift sediments. The question marks at the northeastern end of the section, reflect the problem dealt with, namely whether Permian igneous rocks or Cambrian-Silurian sedimentary rocks are dominant in the area. Left: Line-drawing (depth-converted) of the upper 15 km of OG-7 profile. Note the approx. 4 km of Cambrian-Silurian sedimentary rocks towards the faults A and B, and the almost complete lack of Paleozoic sedimentary rocks southeast of the graben. Syntectonic sediments seem to be present close to the faults A and B. In the center of the graben doming of the basement and erosion of the Cambrian-Silurian sedimentary rocks have taken place. Figure modified after Ro et al. (1990).

Figur 6. Skagerrak Graben, gjengitt fra Lie o.a. (1991).

## Densiteter

For Agderkomplekset har en brukt  $2,67 \text{ g/cm}^3$ . Dette er den gjennomsnittlige densitet for kontinental jordskorpe, den samme som er brukt i beregningene av Bougueranomali-verdiene. Dette er brukt som bakgrunnsdensitet for modellen.

For Bamblekomplekset er brukt  $2,77 \text{ g/cm}^3$ , som er et veiet gjennomsnitt av densitetsmålinger av 112 prøver tatt av Padget og Sindre (Sindre 1992), innenfor Arendalkartbladet. Det er nær det samme som Ramberg og Smithson (1975) har kommet frem til ( $2,79$ ), men lavere enn Lie o.a.(1993) har brukt i sin modell ( $2,83$ ).

Den øvre skorpe i den sørøstre delen av Skagerrak har en gitt densitet  $2,71 \text{ g/cm}^3$  som er noe høyere enn for Agderkomplekset. Dette ga bedre tilpasning til målt anomalikurve.

Sedimentene i Skagerrak er slått sammen til en enhet og har fått densiteten  $2,50 \text{ g/cm}^3$ . Dette er gjennomsnittet av de densiteter en får når en bruker de seismiske p-bølge hastigheter som Lie o.a. (1993) har funnet, og benytter omregningskurvene til densitet som er utarbeidet av Woollard (1959) og Nafe og Drake (1957). Lie o.a.(1993) bruker en høyere densitet ( $2,58$ ).

I den sørøstre enden av profilet er det en negative anomali hvor årsaken sannsynligvis er Bohusgranitt (Lie o.a.1993). Det er her lagt inn en kropp med densitet  $2,65 \text{ g/cm}^3$  som er gjennomsnittet for 13 granittprøver fra Bamblekomplekset. Dette passer bra med Lind (1982) som har funnet en noe varierende densitet for Bohusgranittene med et gjennomsnitt på  $2,64 \text{ g/cm}^3$ . Det er lagt inn en ukjent tung kropp ved siden av granitten for å pynte på kurven. Densitet på denne er satt til  $2,99 \text{ g/cm}^3$ .

Undre skorpe er i modellen gitt densiteten  $2,85$  -, og øvre mantel  $3,30 \text{ g/cm}^3$ .



## 4 DISKUSJON

Fig.3 viser omrisset av Skagerrak Graben (SG) som påvist av Ro o.a.(1990) sammen med dybdekoter for magnetisk basement og gravimetrisk anomali. En ser at sidene av SG delvis faller sammen med de dype rennene i basement, og at en har en oppvelving av basement under SG.

Den magnetisk-gravimetriske modellen langs profil A i Fig.5 og den seismiske modellen langs profil OG-7 i Fig.6, som er gjengitt fra Lie o.a.(1993), viser stor grad av parallellitet. Våre dyp er mindre, men profil A ligger ca. 15 km lenger nordøst enn profil OG-7, og som profil OG-2 (som er parallelt med kysten) viser, kan dypet til krystallinske bergarter endre seg over korte avstander. Når en tar dette i betraktning, kan en si at det er godt samsvar mellom SG og den modellen som den magnetiske og gravimetriske tolkningen gir.

Fig. 3 viser imidlertid at den negative gravimetriske anomalien, og da også største dyp til basement, ligger på den nordvestre siden av SG slik den er tegnet på kartet. Hvis SG har størst innsynkning langs kantene, indikerer de gravimetriske og magnetiske målingene at kanten av SG ligger ca. 10 km lenger nordvest enn der den er gjengitt i Fig.3.

I den gravimetriske modellen har basement høyden mellom bassengene fått samme densitet som Bablekomplekset. Den har imidlertid en helt annen magnetisk signatur enn Bamblekomplekset, og er neppe en fortsettelse av dette. Basementhøyden gir en stor sammenhengende negativ magnetisk anomali som ligger innenfor Skagerrak Graben som definert av Ro o.a.(1990).

Ved å bruke en skrå grense som faller mot sørøst mellom Agder- og Bamblekomplekset, og densitet som målt på et stort antall prøver fra Bamble, har en fått godt samsvar mellom målt og beregnet gravimetrisk anomalikurve. Som Lie o.a. (1993) også har kommet fram til, viser våre beregninger langs profil A at den sterke gravimetriske anomalien langs kysten kan forklares ved hjelp av Bamblekomplekset alene.

## 5 KONKLUSJON

De magnetiske beregningene viser at dypet til magnetisk basement, som sannsynligvis også er dypet til krystallinske bergarter, danner to dype basseng parallelt med kysten med en basement høyde i midten. Bassengene har et dyp av størrelsesorden 3000 - 4000 m, og den mellomliggende høyden ca. 1000 m. Basementhøyden indikerer samme densitet som Bamblekomplekset, men den magnetiske signaturen er forskjellig.

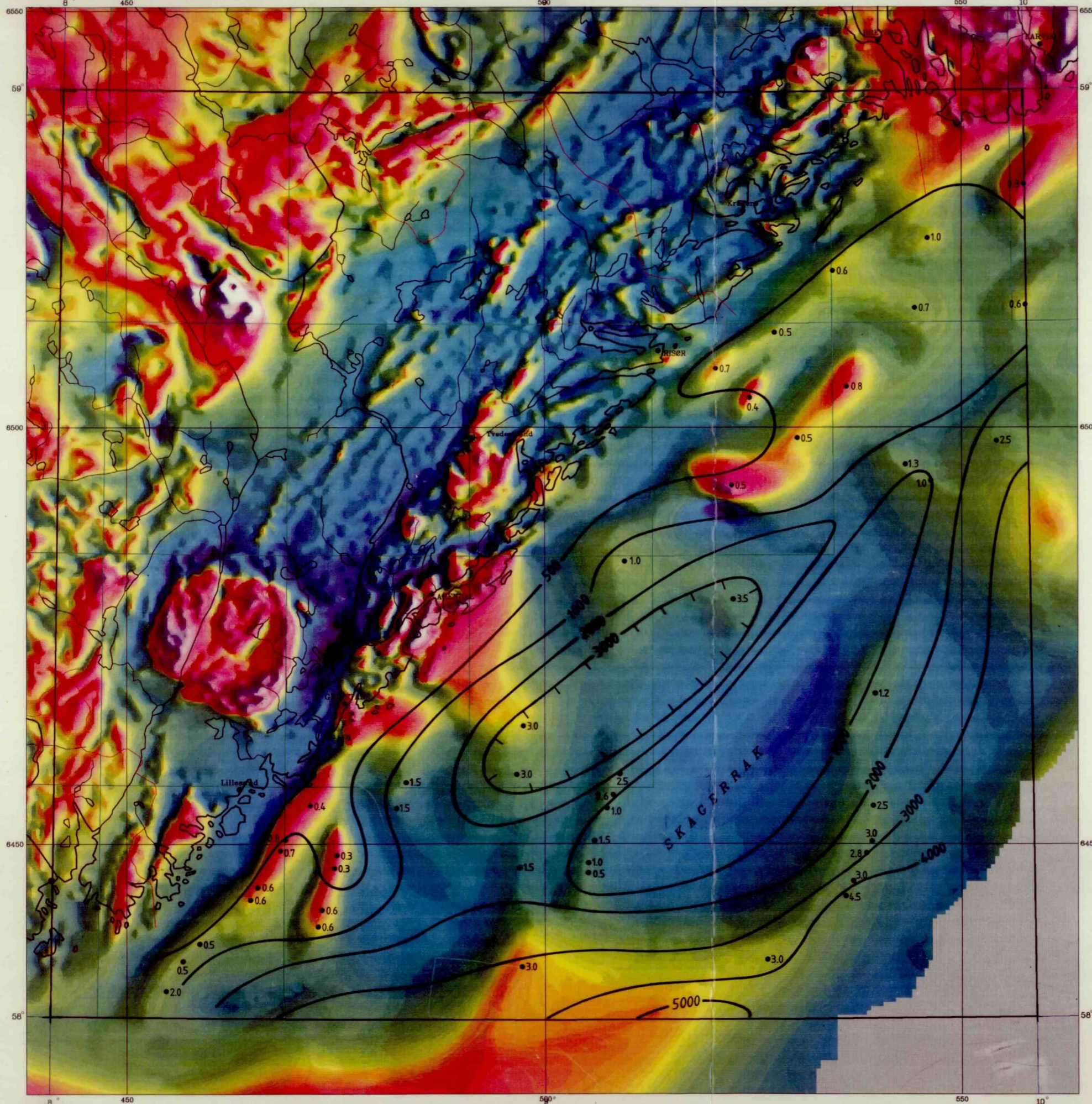
Gravimetrien viser at gropene i basement gir negative anomalier og er fylt med lette bergarter. Hvis en gir disse bergartene en densitet som tilsvarer gjennomsnittet for de sedimentære bergartene som en får av de seismiske p-bølger (Lie o.a. 1993), så gir dette en bra tilpasning mellom målt og beregnet gravimetrisk anomalikurve.

De gravimetriske og magnetiske målingene indikerer at Skagerrak Graben strekker seg ca. 10 km lenger mot nordvest enn det som er angitt av Ro o.a.(1990).

Den sterke gravimetriske anomalien langs kysten kan forklares ved hjelp av Bamblekomplekset alene.

## 6 REFERANSER

- NGU 1992: Gravimetrisk Bougueranomali kart, Arendal M 1:250 000. *Norges geologiske undersøkelse*.
- NGU 1993: Aeromagnetisk anomali kart, Arendal M 1:250 000. *Norges geologiske undersøkelse*.
- Lie, J.E., Husebye, E.S., Kinch, J.J., and Karlsson, F.R. 1993: Geophysical evidence of Cambrian-Silurian sedimentary rocks in the northern Skagerrak. *Geol. För. i Stockh. Förh.*, 115.
- Lie, J.E. og Husebye, E. 1993: Single share deformation of the Skagerrak lithosphere; implications for the Oslo Rift formation. *Tectonophysics*, *in press*.
- Lind, G. 1982: Gravity interpretation of the crust in South-Western Sweden. *Geologiska institusjonen, Publ. A 41*.
- Nafe, J.E. and Drake, C.L. 1959: Physical properties of crustal materials as related to compressional wave velocities; paper presented at Annual Meeting of Soc. Expl. Geophys., 1957, Dallas, Texas (unpublished). (Se Talwani, M. : A crustal section across the Puerto Rico Trench. *Jour. Geoph. Res.* 1548, Vol.64, 1548, 1959).
- Ramberg, I.B. and Smithson, S.B. 1975: Geophysical interpretation of crustal structure along the southeastern coast of Norway and Skagerrak. *Geol. Society of America Bulletin*, Vol.86, 769-774.
- Ro, H.E., Stuevold, L.M., Faleide, J.I. og Myhre, A.M. 1990: Skagerrak Graben - the offshore continuation of the Oslo Graben. *Tectonophysics*, 178, 1-10.
- Sindre, A. 1992: Regional tolkning av geofysiske data, kartblad Arendal, M 1:250 000. *NGU Rapport 92.213*.
- Smethurst, M.A. 1992: GDB2. A PC database program for data ordered in a grid pattern and for profiles through such grids. *NGU Rapport 92.328*.
- Torsvik, T.H. 1992: IMP - Interactive modelling of potential field data (Release 5). *NGU Rapport 92.305*.
- Woollard, G.P. 1959: Crustal structure from gravity and seismic measurements. *Jour. Geoph. Res.* Vol. 64, 1521-1544.



Generell beskrivelse

Det aeromagnetiske anomalikart er basert på verdier i et rutenett interpolert fra digitaliserte håndkonturerte kart. Cellestørrelsen er 500 m x 500 m. Kartet er fremkommet ved å trekke det globale referansefeltet The Definite Geomagnetic Reference Field 1965.0 (DGRF 1965.0) fra det magnetiske totalfeltet. Kartet er produsert med en pseudo-relieff teknikk med 'belysning' fra øst. Målingene i 1960 er utført med et fluxgate magnetometer av type AN/ASQ-3A med sensor montert i en halestinger på flyet. Absoluttverdien av magnetfeltet er bestemt ved kalibreringsmålinger med et ELSEC 592 protonmagnetometer.

**Landområder**  
 Flyhøyde : ca. 150 m  
 Profilavstand : ca. 500 m  
 Profilretning : Ø - V, (SØ - NV, 1959)  
 Navigasjon : visuell

**Havområder**  
 Flyhøyde : ca. 500 m.o.h.  
 Profilavstand : ca. 4 km  
 Profilretning : ca. N - S  
 Navigasjon : Decca, Loran

General description

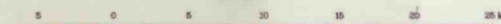
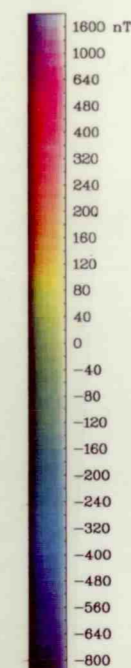
The aeromagnetic anomaly map is based on a 500 m x 500 m grid interpolated from hand-drawn contour maps. The magnetic total field was reduced to anomaly values by subtracting The Definite Geomagnetic Reference Field 1965.0 (DGRF 1965.0) and plotted using a pseudo-relief technique with illumination from the east. Measurements of the total field in 1960 were made with an AN/ASQ-3A fluxgate magnetometer with sting-mounted sensor. An ELSEC 592 proton magnetometer was used for calibration measurements in order to obtain absolute values of the field.

**Land areas**  
 Flight altitude : ca. 150 m  
 Profile spacing : ca. 500 m  
 Profile direction : E - W (SE - NW 1959)  
 Navigation : visual

**Sea areas**  
 Flight altitude : ca. 500 m a.s.l.  
 Profile spacing : ca. 4 km  
 Profile direction : ca. N - S  
 Navigation : Decca, Loran

Kartet er plottet på en CalComp 58000 fargeplotter.  
 The map is plotted on a CalComp 58000 colour plotter.

Tegnforklaring  
 Legend



Datum: ED50  
 Kartprojeksjon: Universal Transverse Mercator, midtmeridian 9° EGr.

Referanse: Norges geologiske undersøkelse - 1993  
 Aeromagnetisk anomalikart, ARENDAL M 1 : 250 000

Ny utgave utarbeidet av J. Gellein og O. Kihle

Fig.1 Magnetisk residuelfelt, referanse DGRF 1965. Relieffkart med belysning fra øst, NGU (1993). Beregnet dyp til magnetisk basement i Skagerrak.

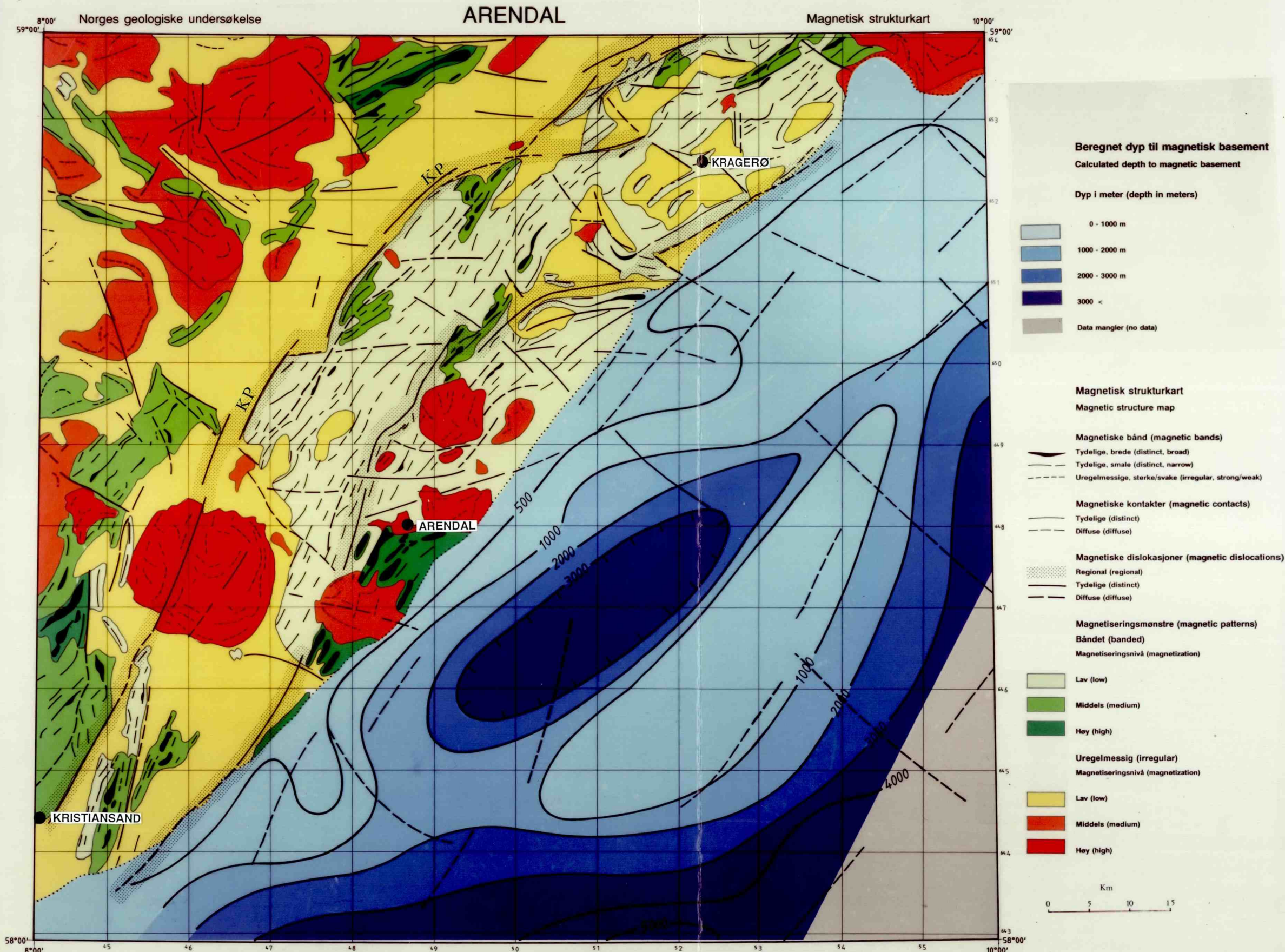


Fig.2 Magnetisk strukturkart (Sindre 1992). Dyp til magnetisk basement. Kristiansand Porsgrunn forkastningssonen (KP).

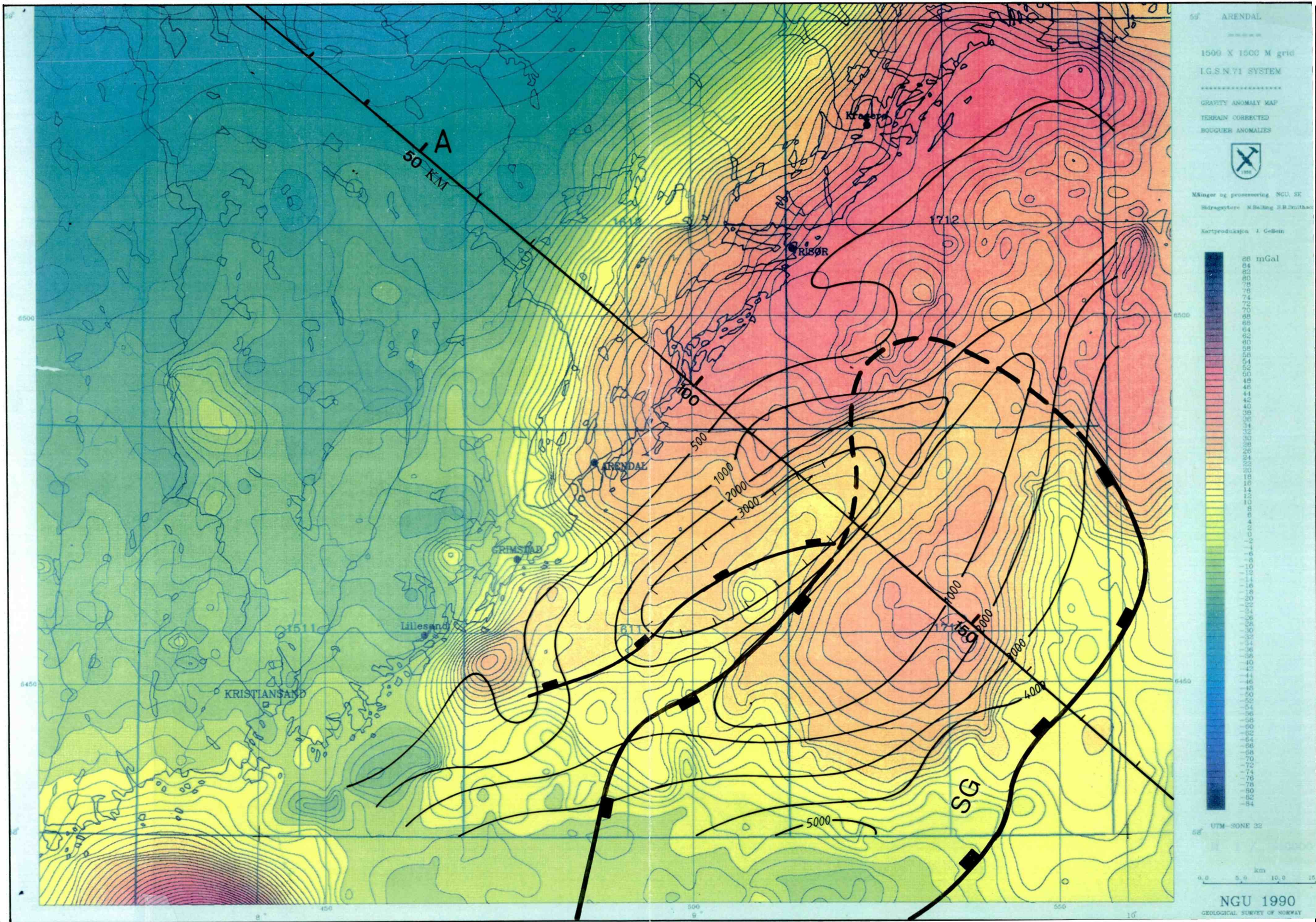


Fig. 3 Gravimetrisk Bougueranomali-kart, NGU (1990). Beregnet dyp til magnetisk basement i Skagerrak. Gravimetrisk tolkning gjort langs profil A, (Fig.4 og 5). Skagerrak Graben (SG) fra Ro o.a.(1990).