



COWI



Landsdækkende screening af geotermi i 28 fjernvarmeområder

Bilag 3: Områderapport for Grenå

Indholdsfortegnelse

- Introduktion
- Data for fjernvarmeområder (COWI)
- Beregning af geotermianlæg (DFG)
- Beregningsresultater vedr. indpasning af geotermi (Ea)
- Geologisk vurdering (GEUS)

Introduktion

Dette er én ud af 28 områderapporter, som viser specifikke økonomiske og produktionsmæssige resultater for hvert enkelt område. Rapporten er et bilag til hovedrapporten "Landsdækkende screening af geotermi i 28 fjernvarmeområder", og bør læses i sammenhæng med denne, da hovedrapporten indeholder information, der er væsentlig for at forstå resultatet. Rapporten er udarbejdet for Energistyrelsen af Dansk Fjernvarmes Geotermiselskab, COWI og Ea Energianalyse i perioden efteråret 2013 til sommeren 2015.

Områderapporten indeholder den af GEUS udførte geologiske vurdering, COWIs beskrivelse af fjernvarmeområdet og den fremtidige forsyningsstruktur, Dansk Fjernvarmes Geotermiselskabs beregninger af de økonomiske og tekniske forhold i et geotermianlæg i fjernvarmeområdet, og Ea Energianalyses modelresultater fra Balmorel med varmeproduktionskapaciteter, fjernvarmeproduktion og -omkostninger over året for de fire scenarier i årene 2020, 2025 og 2035.

Resultaterne skal tages med en række forbehold.

Først og fremmest skal det understreges, at der er tale om en screening med det formål at give en indikation af mulighederne for geotermi. Der er ikke foretaget en fuldstændig analyse af den optimale fremtidige fjernvarmeforsyning i området.

Den geologiske vurdering er alene foretaget for en enkelt lokalitet, svarende til en umiddelbart vurderet fordelagtig placering af geotermianlægget. Der kan derfor ikke drages konklusioner om hele områdets geologiske potentiale og den optimale placering for et eventuelt geotermianlæg.

Modellering af områdets nuværende og forventede fremtidige fjernvarmeproduktion og -struktur er sket ud fra de data, som de var oplyst og forelå i år 2013. Endvidere indeholder optimeringsmodellen en række forudsætninger og forsimplinger, som ikke nødvendigvis afspejler de aktuelle forhold præcist. Der tages således for eksempel ikke hensyn til kapitalomkostninger for eksisterende produktionsenheder, kun for enheder modellen investerer i. Eksisterende anlæg forudsættes at kunne levetidsforlænges indtil år 2035 uden væsentlige reinvesteringer ud over normalt vedligehold. Der skal endvidere tages højde for, at resultaterne ikke er baseret på optimeringer for hver enkelt by, men en optimering for hele systemets energiomkostninger. Der er ikke udført usikkerheds- og følsomhedsberegninger for hvert område, men derimod lavet et generelt eksempel på geotermianlæggets følsomhed overfor ændringer af de vigtigste inputparametre, se afsnit 5.2 i hovedrapporten.

MEMO

TITEL

Grenå - Beskrivelse fjernvarmeområde

DATO

10. oktober 2014

TIL

Energistyrelsen

KOPI

FRA

COWI (Else Bernsen/Kurt Madsen)

PROJEKTNR

A044062

ADRESSE COWI A/S

Parallelvej 2

2800 Kongens Lyngby

TLF +45 56 40 00 00

FAX +45 56 40 99 99

WWW cowi.dk

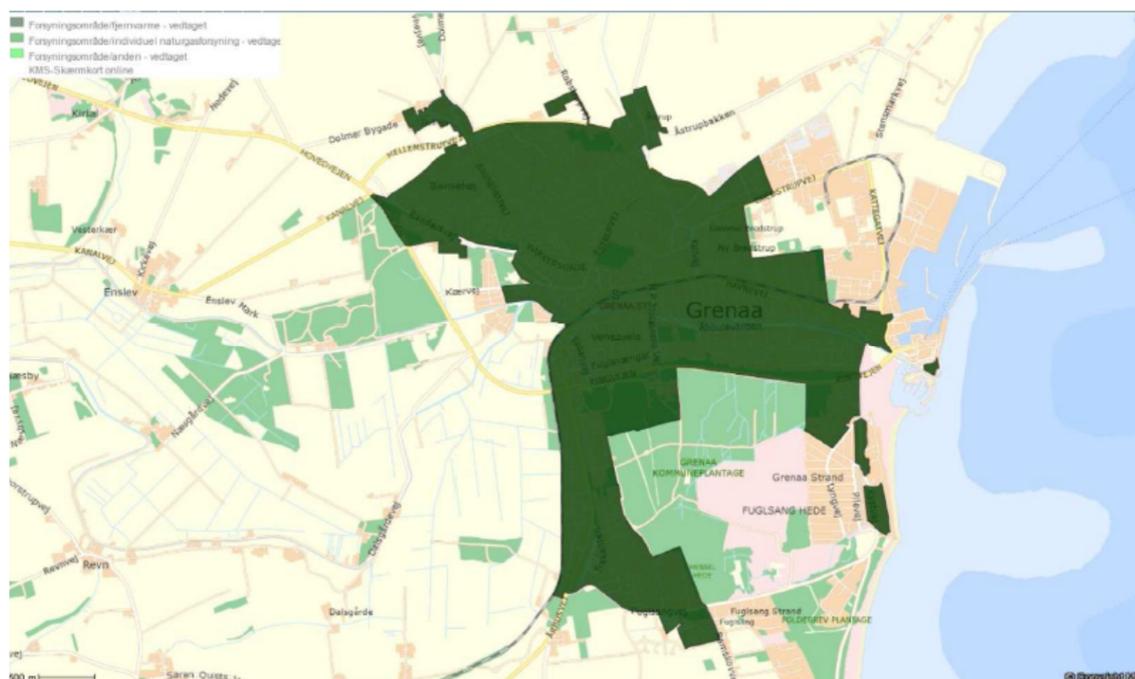
SIDE 1/5

1 Grenå Fjernvarme

1.1 Nuværende forsyningsområde

Fjernvarmeforsyningen i Grenå varetages af Grenå Varmeværk A.m.b.A. Grenå varmeværk er forbrugerejet og har leveret varmen til Grenå i mere end 50 år.

Nedenstående kort viser det nuværende forsyningsområde samt det nuværende distributionsnet i Grenå.



Figur 1 Oversigtskort over Grenå Varmeværks forsyningsområde i Grenå



Figur 2 Oversigtskort over Grenå Varmeværks distributionsnet i Grenå (kortudsnit fra TERMIS)

Varmen til området produceres primært på Grenaa Kraftvarmeværk og på Grenå Forbrænding samt spids- og reservelastskedler på Grenå Varmeværks fire centraler Violskrænten, Bredstrup, Søndre Skole og Fuglsang.

Grenaa Kraftvarmeværk er opført i 1992 og leverer foruden fjernvarme til Grenaa også procesdamp til virksomheder, der anvender damp i produktionen. Værket er et multibrændselsfyret kraft- og varmeproducerende anlæg. I 2012 købte Verdo Produktion A/S kraftvarmeværket af DONG Energy og overtog driften.

I 2013 blev der produceret i alt 168.220 MWh. Heraf leverede Verdo 67 %, Grenaa Forbrænding A/S 32 % og endelig er der kun produceret 1% på Grenaa Varmeværks egne kedelcentraler.

Grenå Forbrænding producerede i 2013 produceret 51.916 MWh og der blev i den forbindelse afbrændt i alt 22.500 tons affald.

I 2012 blev det besluttet at etablere et 12.000 m² stort solvarmeanlæg på en del af den tidligere BASF-grund. Anlægget på Bredstrupvej blev sat i drift i februar måned i 2013 og vil kunne producere det, der svarer til forbruget i ca. 350 boliger.

Varmen leveres til ca. 5200 målere. I 2013 er der renoveret mere end 120 stikledninger og 900 meter transmissionsledning fra Violskrænten til Solvangsallé samt etableret 1.200 meter ny hovedledning fra solvarmeanlægget til Energivej, ligesom der er udskiftet en række gamle uisolerede ventilbrønde. Renoveringerne i nettet er medvirkende til at øge nyttevirkningen i ledningsnettet, og tabet i 2013 var således kun 17,4%

Centralerne kan køre som selvstændige centraler og dermed forsyne de pågældende områder, hvis der sker udfald fra en af varmeværkets hovedleverandører. Varmen fordeles gennem 7,6 km transmissionsledning, 107,0 km hovedledning og 90,7 km stikledning.

Nedenstående tabel viser varmebehovet for Grenå Varmeværks forsyningsområde.

Tabel 1 Oversigt nuværende og fremtidigt varmegrundlag Grenå Varmeværk

Varmegrundlag				
Grenå				
MWh/år	2013	2015**	2025**	2035**
Eksisterende forbrugsbase Netto varme	135.382	135.382	135.382	135.382
Distributionstab	32.838	32.838	32.838	32.838
An net	168.220	168.220	168.220	168.220
TJ/år				
Nettovarme	487	487	487	487
Distributionstab	118	118	118	118
An net	606	606	606	606
Baseret på Grenå Varmeværks årsrapport 2013 samt DF's statistik 2012				
Det er oplyst at leverancen fra affaldsforbrændingsanlægget udgør 187 TJ (ca 32%)				
Leverancen fra kraftvarmeværket udgør således 419 TJ (ca 68%)				
Energistyrelsens Udbud angiver som gns 5 år 1006 TJ/år samlet an net				
hvoraf varmeliverancen fra forbrændingsanlægget udgør 157 TJ (16%)				
Energiproducenttællingen angiver en samlet produktion an net på 1088 TJ an net				
hvoraf varmeliverancen fra forbrændingsanlægget udgør 200 TJ (18%)				
Forskellen i varme an net fra oplysninger i varmeværkets årsrapport og i hhv energiproducenttællingen og Energistyrelsens gns 5 års statistik på ca 400 TJ skyldes leverancer af procesdamp fra kraftvarmeværket til Danisco				

** For nærværende forventes der ingen udvikling i det fremtidige varmebehov, se dog også kapitel 1.3.

DF har gennemført en treårig strukturanalyse for medlemsselskaberne og har i denne angivet nedenstående temperaturforhold for fjernvarmesystemet i Grenå.

Det maksimale effektbehov an net er i DF's statistik angivet til 90 MW

Tabel 2 Oversigt over temperaturforhold

Sommer an net		Vinter an net	
Fremløb	Retur	Fremløb	Retur
[°C] 2010 - 3 årig strukturanalyse			
69	40	84	39

1.2 Nuværende produktionsstruktur

Nedenstående tabel giver en oversigt over den nuværende varmeproduktionsstruktur hos Grenå varmeværk.

Tabel 3 Varmeproduktionsstruktur 2012 (fra Energistyrelsens energiproducenttælling)

Bilisterende produktionsanlæg - baseret på energiproducenttællingen 2012																
Anlægsnavn	Anlægstype	Hovedbrændsel	Varme produktion i 2012 (TJ)	*Brændselsforbrug 2012 (TJ)	Indfyldt effekt (MW)	Elsæfekt (MW)	Varme effekt (MW)	Elvirkningsgrad	**Varmevirkningsgrad	Etableringsår	Følgende udførelsesår	Brændselsfordeling				
												Kul	Fuelolie	gasolie	Affald	Skovflis
Grenå by																
Grenå Forbrænding a/s, Kaløvej	Kedel	Affald	200	258	7	0	7		100%	01-01-1982					247,4	7,9
Grenå Varmeværk, Violskrænten	Kedel (Bøp)	Gasolie	2	3	24	0	24		100%						2,7	
Bredstrup Varmeværk (BSV), Energivej	Kedel	gasolie	2	3	30	0	30		100%						2,7	
Søndre Skole Varmeværk, Abouløvarden	Kedel	Gasolie	0	0	15	0	15		100%						0,3	
Fuglsang Varmeværk, Ravnholvej	Kedel	Gasolie	0,1	0	14	0	14		100%						0,3	
Grenå Kraftvarmeværk, Kaløvej	Dampturbiner	Træ- og biomasseaffald	858	1394	88	18	42	21%	81%	01-01-1992		202,5		3,0		757,6
Grenå Kraftvarmeværk, Kaløvej	Kedel	Fuelolie	27	30	25	0	25		100%	01-01-1992			25,7			
Total			1.088				150									

Dokumentation af energiproducenttællingen er baseret på indmeldinger fra selskaberne. Dette skal suppleres/verificeres i forbindelse med den videre proces.
 * Brændselsforbruget i energiproducenttællingen for kedeldrift er identisk med varmeproduktionsværdier for den samlede el og varmeproduktion og den angivne totalvirkningsgrad på 85% (=42%+43%)
 ** Varmevirkningsgraderne er baseret på de angivne værdier for indfyldt effekt og varme effekt.

Grenaa Kraftvarmeværk er opført i 1992 og leverer foruden fjernvarme til Grenaa også procesdamp til virksomheder, der anvender damp i produktionen. Værket er et multibrændselsfyret kraft- og varmeproducerende anlæg. I februar 2012 købte Verdo kraftvarmeværket af DONG Energy og overtog driften.

Anlæggenes geografiske placering er illustreret nedenfor:



Figur 3 Geografisk oversigt varmeproduktionsanlæg i Grenå

Det er aftalt at undersøge mulighederne for etablering af et eventuelt nyt geotermianlæg placeret ved Fuglsang Varmeværk Ravnholtvej 2.

1.3 Fremtidig forsyningsstruktur

Kontrakten med Verdo udløber med udgangen af 2017, og da der er 5 års opsigelse, har bestyrelsen derfor valgt formelt at opsigte samarbejdet. Grenaa Varmeværk er som følge deraf fritstillet efter denne dato. Bestyrelsen arbejder på at etablere et alternativ til Verdo og med de sidste store prisstigninger, så vil der kunne etableres et billigere alternativ som f.eks et halmvarmeværk til at erstatte Kraftvarmeværket.

Medio 2015 udløber kontrakten med Reno Djurs I/S om levering af affald til anlægget. Samme år skal miljøgodkendelsen revideres og dette betyder, at der skal foretages en række investeringer.

Miljøstyrelsen arbejder i øjeblikket på en reformering af affaldssektoren, som formentlig vil medføre, at affaldsmængden bliver markant mindre. Der er således en stor usikkerhed om Grenaa Forbrænding A/S fremover kan tiltrække tilstrækkelig affald til den rigtige pris.

Bestyrelsen har derfor besluttet at indstille driften af affaldsforbrændingen, når ovennævnte aftale udløber.

Bestyrelsen har dog i februar måned 2014 fremsendt en projektansøgning til Norddjurs Kommune, således at anlægget kan ombygges, så der i stedet for affald kan brændes biobrændsel i form af skovflis.

Grenå varmeværk har, afhængig af hvordan varmen til Grenå produceres fremover også planer om at udvide forsyningsområdet ved både havneområdet og via transmissionsledninger til omegnsbyerne Ålsrode og Voldby.

Sidstnævnte by har i dag et flisfyret værk, der påregnes udskiftet inden for en overskuelig fremtid.

Stigningen i varmebehov ved tilslutning af havneområdet kan udgøre op til ca. 15-20 GWh, svarende til en øgning i det nuværende varmebehov på ca. 15 %.

Projekt: Landsdækkende screening af geotermi i fjernvarmesystemerne

Til: Ea Energianalyse & COWI

Kopi: GEUS

Fra: Birte Røgen, Malthe Jacobsen & Asger Løngreen, Dansk Fjernvarmes Geotermiselskab

Dato: 3. februar 2015

Emne: Beregning af et geotermianlæg i Grenå

1 Indledning

Dansk Fjernvarmes Geotermiselskab, COWI og Ea Energianalyse har for Energistyrelsen udført beregninger af de økonomiske og tekniske forhold i et geotermianlæg i Grenå. Beregningerne er udført som en del af et større analysearbejde omfattende 28 fjernvarmeområder i Danmark.

Anlægsberegningerne er udført på baggrund af geologiske data leveret af De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (GEUS) (ref.: Grenå_2014_07_28.docx) og data for fjernvarmeforsyningen i Grenå leveret af COWI på baggrund af forskellige datakilder, herunder data indhentet hos Grenå Varmeværk (ref.: Beskrivelse af fjernvarmeområder gruppe 3, august 2014).

Der tages udgangspunkt i en placering af et eventuelt geotermianlæg ved Fuglsang Varmeværk, Ravnholtvej 2, 8500 Grenå.

2 De geologiske forudsætninger

Geologisk set ligger Grenå i det Danske Bassin, et indsynkningsområde med tykke aflejringer, hvoraf nogle lag anses som egnede for geotermisk varmeproduktion. GEUS har vurderet at sandsten fra Frederikshavn Formationen udgør det bedste potentielle geotermiske reservoir ved Grenå.

Usikkerheden på de geologiske parametre er høj på grund af lav datatæthed. De geologiske data, der indgår i beregningerne, er vist i Tabel 1.

Formation		Frederikshavn Fm
Terrænkote	moh	5
Dybde@midt reservoir	m TVD GL	1881
Temperatur@midt reservoir	°C	59
Tykkelse af formation	m TVT	72
Tykkelse af potentielt reservoirsand	m TVT	43
Transmissivitet	Dm	9
Seismik-anbefaling	km	80

Tabel 1: Geologiske reservoirdata.

(moh: meter over havniveau; TVD: lodret dybde (true vertical depth); GL: terrænniveau (Ground Level); TVT: lodret tykkelse (true vertical thickness); Dm: Darcy meter)

3 Forudsætninger for fjernvarmesystemet

Forudsætningerne for det respektive fjernvarmesystem er beskrevet i rapporten "Beskrivelse af fjernvarmeområder gruppe 3, august 2014". Data fra denne rapport er sammenfattet i Tabel 2 til brug for anlægsberegningerne. Den eksisterende gaskedel på 14 MW på lokaliteten skønnes ikke egnet som drivvarme for absorptionsvarmepumper. Der må derfor påregnes at skulle etableres et nyt drivvarmeanlæg på stedet, hvis der benyttes absorptionsvarmepumper.

Varmegrundlag	TJ/år	606
Eksisterende produktionsanlæg med forret. Antages tilgængelig som drivvarme.	MW	0
Fremløbstemperatur vinter	°C	84
Returløbstemperatur vinter	°C	39
Fremløbstemperatur sommer	°C	69
Returløbstemperatur sommer	°C	40
Mindste varmeeffekt (sommereffekt)	MW	Standard kurve

Tabel 2: Energiforudsætninger.

4 Beregninger for et geotermianlæg

Beregningerne er udført med geotermiPRO, en konceptberegningsmodel for geotermiske anlæg. Programmet arbejder ud fra en anlægskonstellation med varmevekslere og varmepumper og muligheden for at opdele anlægget med geotermivandskreds og varmepumpekreds på to lokaliteter (se bilag om geotermiPRO).

I beregningerne er varmegrundlaget taget i betragtning i form af en varighedskurve, og der er foretaget en vægtet midling af temperaturniveauerne over året. Det forudsættes at geotermien sammen med anlæggene til driv- og eftervarme vil udgøre grundlast i fjernvarmeforsyningen.

De tekniske og økonomiske forudsætninger for beregningerne fremgår i øvrigt af notatet "Generelle forudsætninger for beregning af geotermianlæg".

I standardberegningen forudsættes der anvendt absorptionsvarmepumper, og drivvarme forudsættes at være til stede ved 160 °C. Der er ikke taget stilling til hvordan drivvarmeforsyningen skal etableres, da etablering af fx et varmeanlæg baseret på flis kan blive pladskrævende, og være i konflikt med placeringen i bymæssig bebyggelse. Behovet for levering af drivvarme hvis der etableres absorptionsvarmepumper, kan udgøre argument for at vælge en anden placering af enten hele anlægget eller drivvarmeanlægget med absorptionsvarmepumperne. Der kan også overvejes elvarmepumper som alternativ til etablering af drivvarmeforsyning.

På anlægsskitzen i output fra geotermiPRO, som vises i resultatafsnittet er der kun vist én absorptionsvarmepumpe, mens der i praksis kan være tale om et antal absorptionsvarmepumper i serie.

5 Resultater

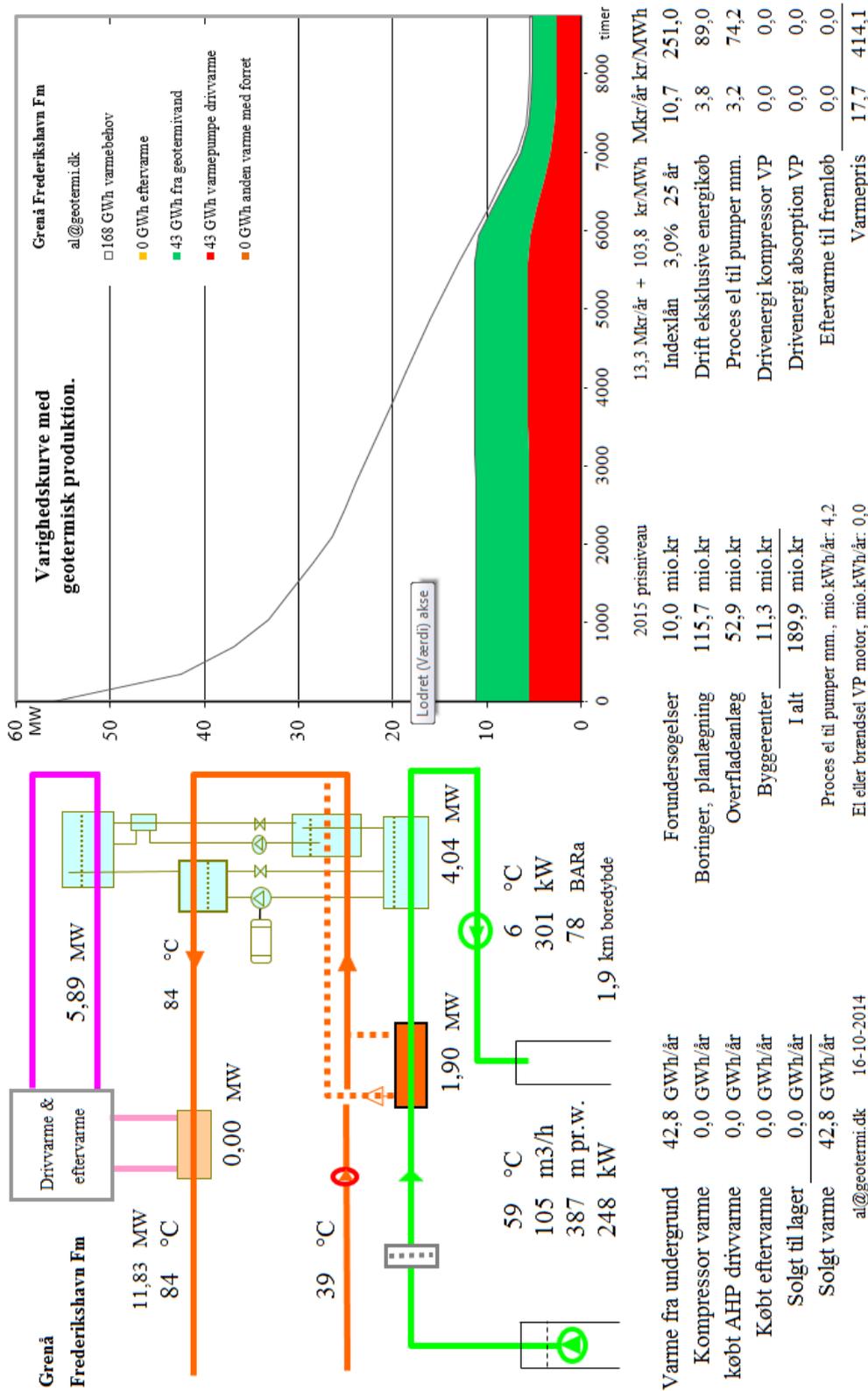
Resultaterne af anlægsberegninger er samlet i den følgende Tabel 3. Desuden vises resultater for geotermiPRO-beregning i en figur indeholdende anlægsskitse med energibalance, varighedskurve med geotermibidrag samt økonomiske nøgletal. Output fra standard-beregningen vises i Figur 1.

En anlægsberegning for et anlæg med absorptionsvarmepumper og placeret på én lokalitet, standardberegningen, viser at der med en samlet investering på 190 mio. kr. kan etableres et geotermianlæg med en kapacitet på 5,9 MW varme fra undergrunden og en total effekt inklusiv driv- og eftervarme på 11,8 MW.

Med de generelle forudsætninger, herunder antagne energipriser og kalkulationsrente, resulterer dette i en årlig varmeproduktion fra undergrunden på 43 GWh/år og en forventet varmepris for geotermivarmen på 414 kr./MWh.

Resultaterne i Tabel 3 skal benyttes i de videre beregninger af scenarier og landsbilleder for geotermi i fjernvarmesystemerne, og indeholder derfor ikke omkostninger til energikøb i de variable drift- og vedligeholdelsesomkostninger. Ligeledes er afskrivning og forrentning af anlægsinvesteringerne ikke medtaget i tabellen.

Usikkerheden på anlægsstørrelsen er vurderet til at være høj.



Figur 1: Output fra geotermiPRO.

Beregningsresultater	Enhed	A) Absorptions varmepumper		B) El-varmepumper	C) Kombination Absorptions og el VP
		Samlet anlæg	Opdelt anlæg	Samlet anlæg	
Anlægskapacitet (vinter)					
1) Effekt fra geotermivand	MW	5,948			
2) Effekt fra drivvarme	MW	5,895			
3) Effekt fra eftervarme	MW	0,000			
4) Varmeeffekt til fjernvarmevand	MW	11,828			
5) Proces el	MW	0,585			
6) Varmepumpe el	MW	N/A			
Årsenergiomsætning, forholdstal					
7) Varme fra geotermivand	%	100,000			
8) Drivvarme	%	100,222			
9) Eftervarme	%	0,000			
10) Varme til fjernvarmevand	%	200,222			
11) Proces el forbrug	%	9,887			
12) Varmepumpe el forbrug	%	N/A			
Investeringsomkostninger					
13) Samlet investering	mio. kr	178,576			
14) Byggerenter	mio. kr	11,311			
Driftsomkostninger					
15) Faste D&V omkostninger	mio. kr./år	2,540			
16) Variable D&V omkostninger, eksklusiv energiforbrug, per MWh varme produceret fra geotermivand	kr./MWh	29,662			

Tabel 3: Resultater fra anlægsberegninger i geotermiPRO.

Noter til Resultatark:

- 1) Effekt fra geotermivand: Den effekt, der stammer fra undergrunden, ved drift i vinterperioden.
- 2) Effekt fra drivvarme: Effekt i form af varme til absorptionsvarmepumper, ved drift i vinterperioden.
- 3) Effekt fra eftervarme: Effekt i form af eftervarme til at hæve temperaturen efter varmepumperne, ved drift i vinterperioden.
- 4) Total effekt til fjernvarmevandet, ved drift i vinterperioden (inkl. efter- og drivvarme)
- 5) Proces el effekt til geotermianlæg, ved drift i vinterperioden
- 6) El effekt til varmepumper, ved drift i vinterperioden

- 7) Årsenergiomsætning, varmemængde produceret fra geotermivand (%). Årsenergiomsætningerne er beregnet med en vægtet kombination af sommer- og vinterdrift.
- 8) Årsenergiomsætning, drivvarmemængde per varmemængde produceret fra geotermivand (%)
- 9) Årsenergiomsætning, eftervarmemængde per varmemængde produceret fra geotermivand (%)
- 10) Årsenergiomsætning, total varmemængde til fjernvarmevand per varmemængde produceret fra geotermivand (%)
- 11) Årsenergiomsætning, proces el forbrug per varmemængde produceret fra geotermivand (%)
- 12) Årsenergiomsætning, varmepumpe el forbrug per varmemængde produceret fra geotermivand (%)

- 13) Samlet investering i geotermianlæg inklusiv varmepumper men ekskl. drivvarmeanlæg. Prisniveau 2015 (uden byggerenter)
- 14) Byggerenter for mellemfinansiering i byggeperioden (3% realrente p.a.)
- 15) Faste drifts- og vedligeholdelsesomkostninger for anlægget (uanset driftstid)
- 16) Variable drifts- og vedligeholdelsesomkostninger ekskl. energiforbrug. Årlige variable omkostninger til drift og vedligehold i forhold til årlig varmemængde produceret fra geotermivand.

Kolonne C): Svarende til et geotermianlæg med både absorptions- og el varmepumper. Anlægget kan skiftevis drives med absorptions- eller el-varmepumper.



De efterfølgende sider indeholder en specifik resultatrapport for Grenå. De fire scenarier som der vises resultater for er:

1. Ref.: Reference scenarie med fastholdelse af det nuværende system og de af fjernvarmeselskaberne planlagte udvidelse indtil 2020. Fra 2020 er "verden forlænget med brædder". Dette scenarie er altså et "status-quo" scenarie.
2. Ref.m.geo.: Reference scenariet med anlagt geotermianlæg. Anlæggets størrelse og tekniske specifikationer er udregnet af Dansk Fjernvarmes Geotermiselskab. Scenariet kan sammenlignes med Reference scenariet og vise hvorledes et geotermianlæg vil konkurrere i områdets nuværende system.
3. Alt.: Alternativ scenariet er hvor systemerne ikke er forlænget med brædder, men i stedet har investeret i nye teknologier, primært biomasse kraftvarme, solvarme og varmepumper.
4. Alt.m.geo.: Dette er et alternativt scenarie, hvor der før man har investeret i nye teknologier har implemeteret et geotermianlæg. Det vil derfor stadig investere i nye teknologier, men i mindre omfang. Dette scenarie kan sammenlignes med Alternativ scenariet og se geotermianlægs konkurrenceforhold i et mere grønt system.

De to scenarier Ref. og Alt. er valgt for at ramme en stagnering og ekspanderende udvikling af grønne teknologiindfasning. I nogle systemet vil man være tættest på det ene og i andre tættest på det andet. De fire scenarier er forklaret i større detalje i hovedrapporten "Landsdækkende screening af geotermi i 28 fjernvarmeområder - Beregning af geotermianlæg og muligheder for indpasning i fjernvarmeforsyningen."

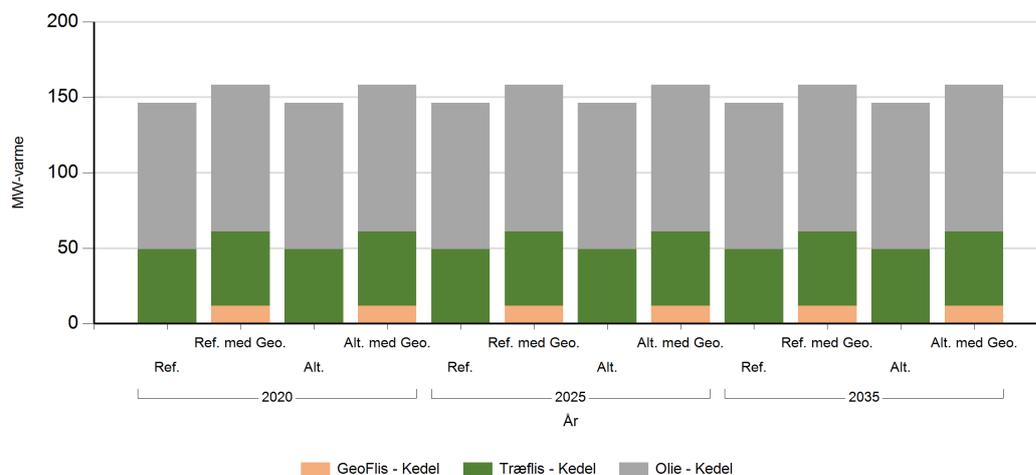
Denne rapport viser varmeproduktionskapaciteter, årlig fjernvarmeproduktion og månedlig fjernvarmeproduktion. Figur- og tabelforklaring er som følger:

- Figur 1: Fjernvarmeproduktionskapacitet fordelt på brændsler og anlægstyper
- Figur 2: Fjernvarmeproduktion i forhold til fjernvarmebehov
- Figur 3: Fjernvarmeproduktion fordelt på brændsler og anlægstyper
- Figur 4: Brændselsforbrug for fjernvarmeproduktion fordelt på brændsler
- Figur 5: Varmelastfordeling over året fordelt på brændsler og anlægstyper
- Figur 6: Samlede varmeproduktionsomkostninger for området (mio. kr.)
- Figur 7: Samlede varmeproduktionsomkostninger for området (kr./GJ)

- Tabel 1: Fjernvarmeproduktionskapacitet fordelt på brændsler og anlægstyper
- Tabel 2i: Solvarmeanlæg i m²
- Tabel 2ii: Fjernvarmeproduktion fordelt på brændsler og anlægstyper
- Tabel 3: Brændselsforbrug for fjernvarmeproduktion fordelt på brændsler
- Tabel 4: Fulldlasttimer for varmeproduktionsenhederne.

Kapaciteter

Fjernvarmeproduktionskapacitet - fordelt på brændsler og anlægstyper



Figur 1: Udvikling i fjernvarme-produktionskapacitet for Grenå fordelt på brændsler og anlægstyper. For alle fjernvarmeområder er der yderligere indsat tilstrækkelig oliespidslastkapacitet til at dække spidsbehovet.

Fjernvarmeproduktionskapacitet - fordelt på brændsler og anlægstyper

MW	2020				2025				2035			
	Ref.	Ref. med Geo.	Alt.	Alt. med Geo.	Ref.	Ref. med Geo.	Alt.	Alt. med Geo.	Ref.	Ref. med Geo.	Alt.	Alt. med Geo.
Træflis - Kedel	49.3	49.3	49.3	49.3	49.3	49.3	49.3	49.3	49.3	49.3	49.3	49.3
GeoFlis - Kedel		11.8		11.8		11.8		11.8		11.8		11.8

Tabel 1: Udvikling i fjernvarmeproduktionskapacitet for Grenå. For alle fjernvarmeområder er der yderligere indsat tilstrækkelig oliespidslastkapacitet til at dække spidsbehovet.

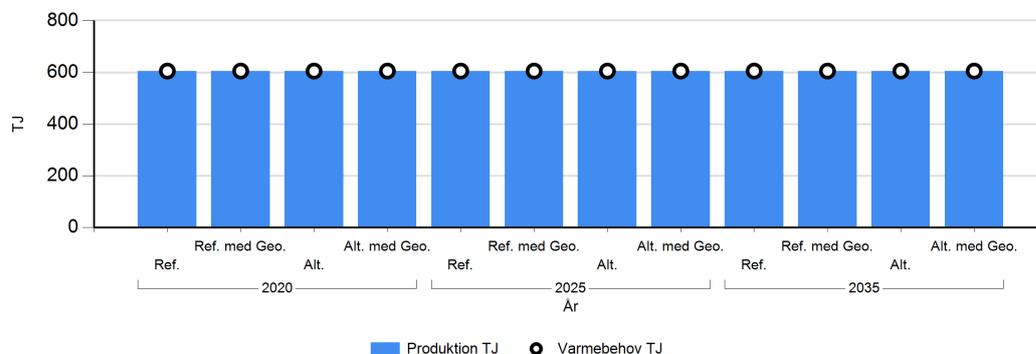
Solvarmeanlæg

m2	2020				2025				2035			
	Ref.	Ref. med Geo.	Alt.	Alt. med Geo.	Ref.	Ref. med Geo.	Alt.	Alt. med Geo.	Ref.	Ref. med Geo.	Alt.	Alt. med Geo.
Solvarme	12.096	12.096	12.096	12.096	12.096	12.096	12.096	12.096	12.096	12.096	16.833	16.833

Tabel 2: Udvikling i kapaciteten af solvarmeanlæg for Grenå.

Fjernvarmeproduktion

Fjernvarmeproduktion i forhold til fjernvarmebehov



Figur 2: Fjernvarmeproduktion i forhold til fjernvarmebehov for Grenå. Eventuelle forskelle mellem produktion og forbrug afspejler varmetransmission med andre fjernvarmeområder.

Fjernvarmeproduktion fordelt på brændsler og anlægstyper



Figur 3: Fjernvarmeproduktion fordelt på brændsler og anlægstyper for Grenå.

TJ	2020				2025				2035			
Brændsler og Anlægstype	Ref.	Ref. med Geo.	Alt.	Alt. med Geo.	Ref.	Ref. med Geo.	Alt.	Alt. med Geo.	Ref.	Ref. med Geo.	Alt.	Alt. med Geo.
Træflis - Kedel	584,7	285,6	584,7	285,6	584,7	285,6	584,7	285,6	584,7	285,6	576,6	282,9
Solvarme	20,7	20,7	20,7	20,7	20,7	20,7	20,7	20,7	20,7	20,7	28,8	28,8
GeoFlis - Kedel		299,1		299,1		299,1		299,1		299,1		293,7

Tabel 2: Fjernvarmeproduktion fordelt på brændsler og anlægstyper for Grenå.

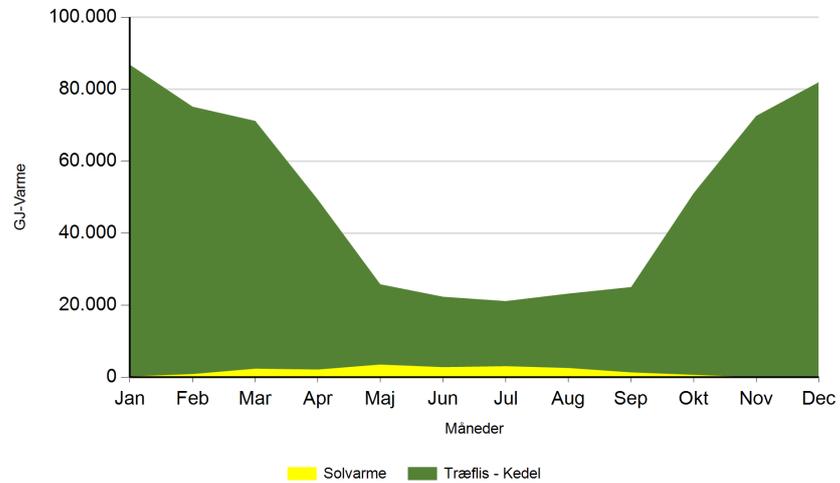
Fuldstimer for varmeproduktion

Fuldst timer	2020				2025				2035			
	Ref.	Ref. med Geo.	Alt.	Alt. med Geo.	Ref.	Ref. med Geo.	Alt.	Alt. med Geo.	Ref.	Ref. med Geo.	Alt.	Alt. med Geo.
Træflis - Kedel	3.867	1.889	3.867	1.889	3.867	1.889	3.867	1.889	3.867	1.889	3.813	1.871
GeoFlis - Kedel		7.040		7.040		7.040		7.040		7.040		6.914

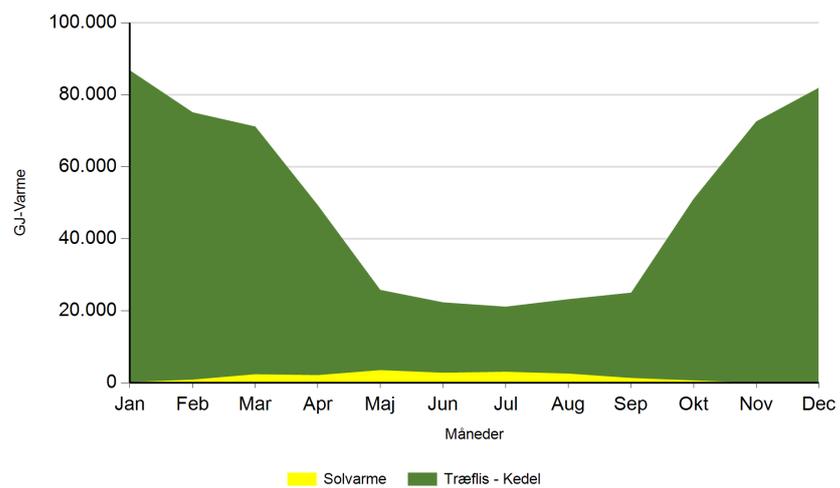
Tabel 4: Antal af fuldstimer for varmeproduktion i Grenå.

Månedlig varmeproduktion fordelt på brændsler og anlægstyper for Grenå.

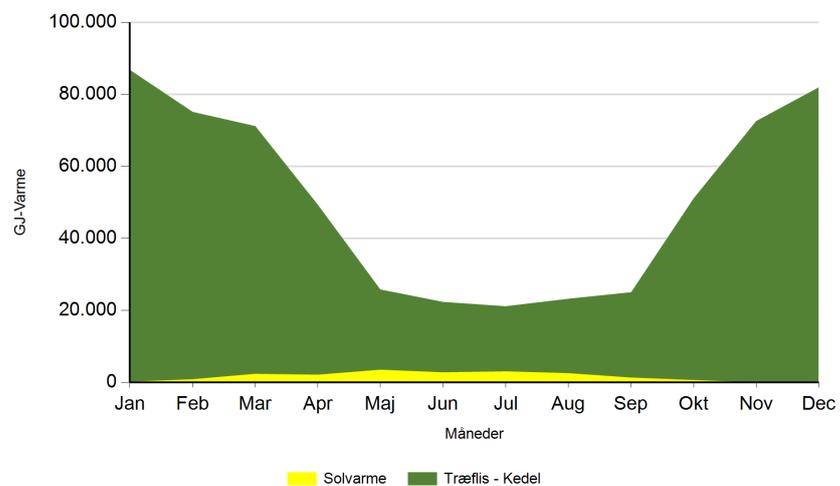
Ref. 2020



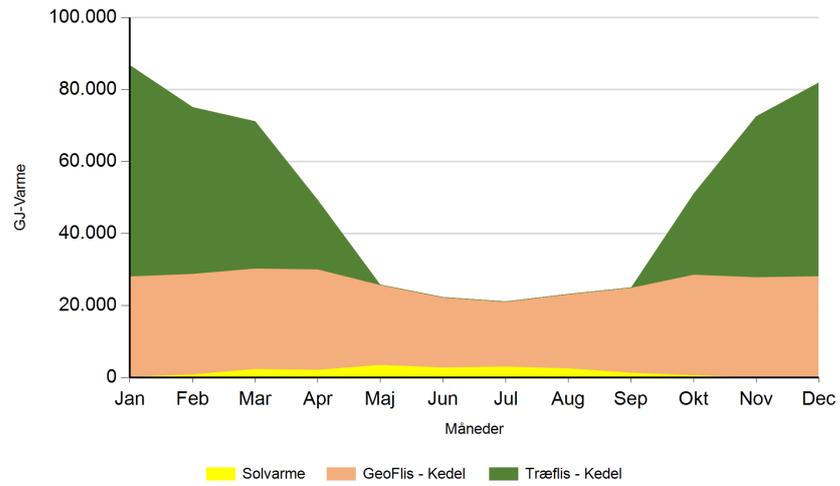
2025



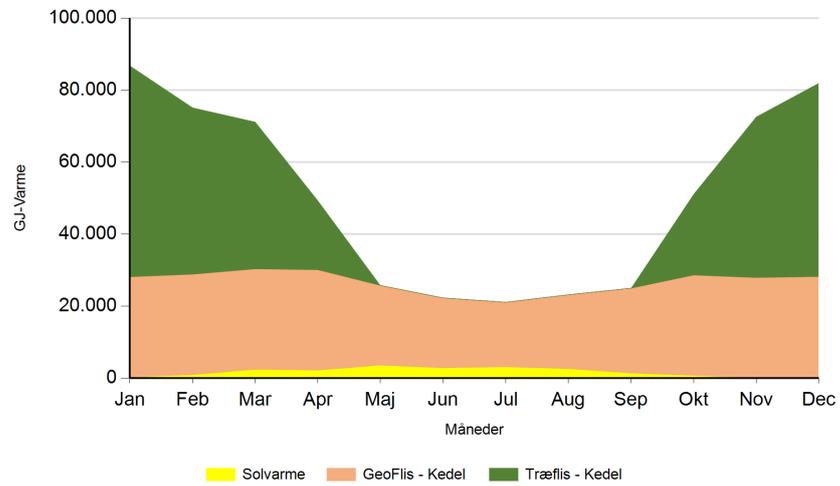
2035



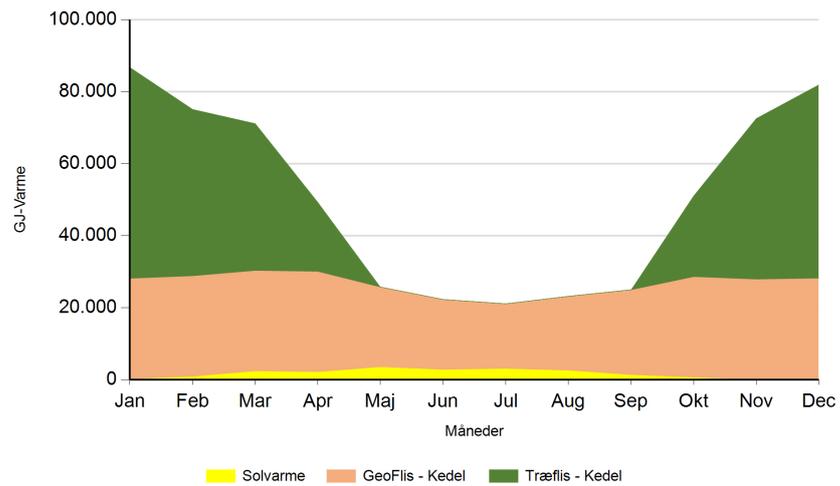
Ref. med Geo. 2020



2025



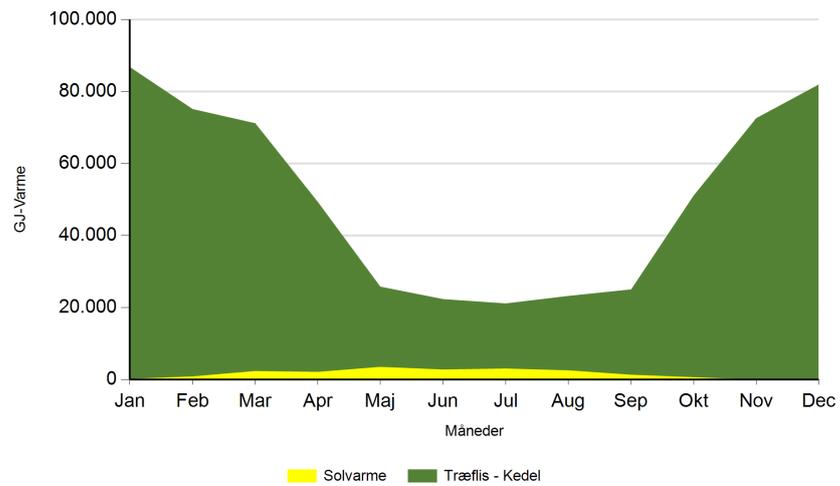
2035



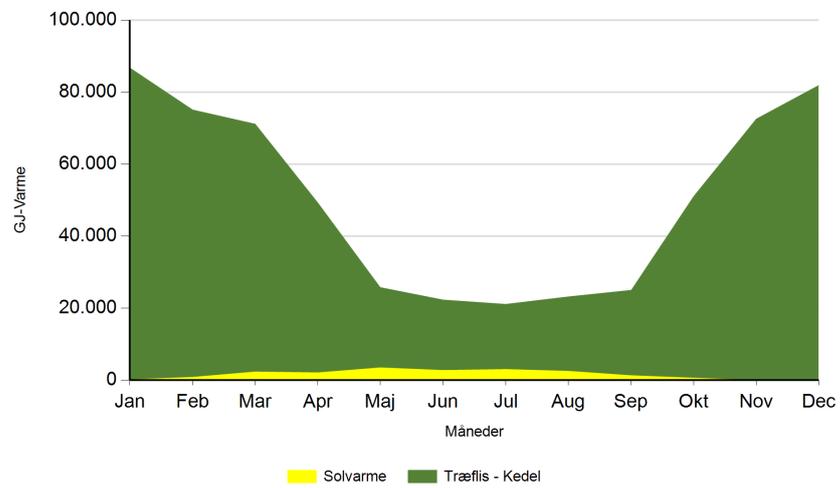


Alt.

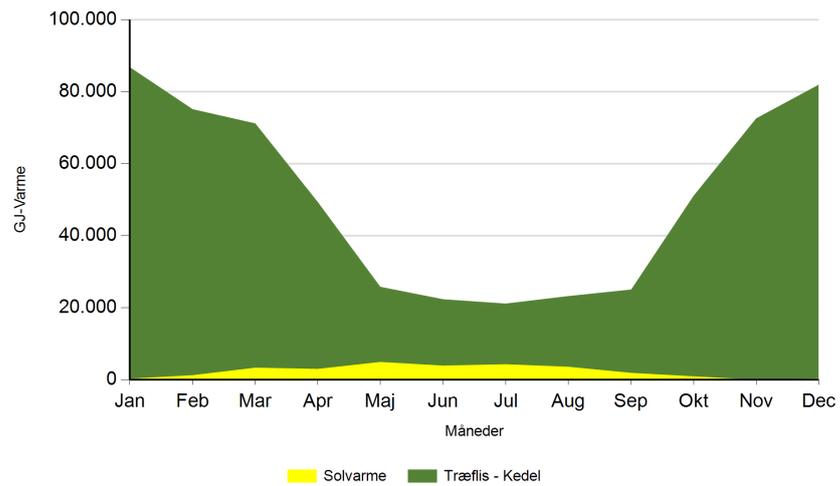
2020

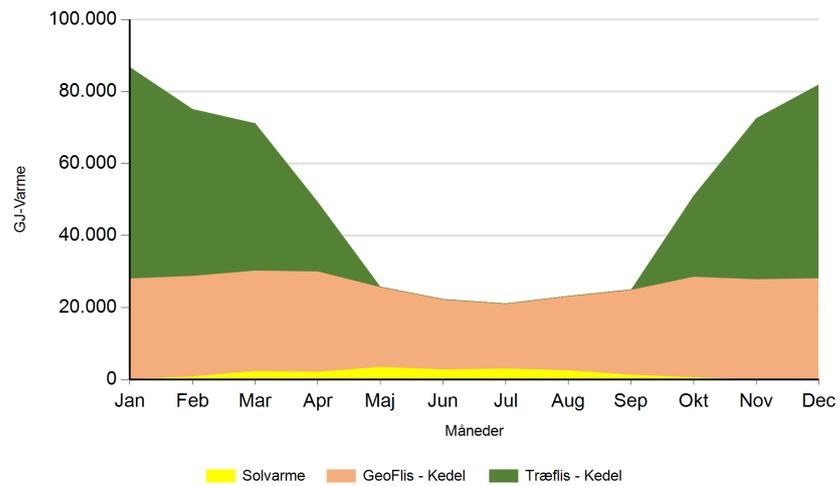
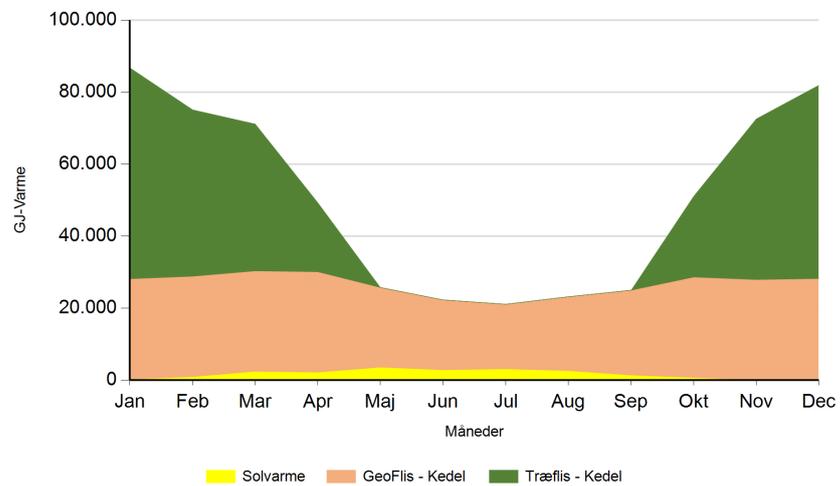
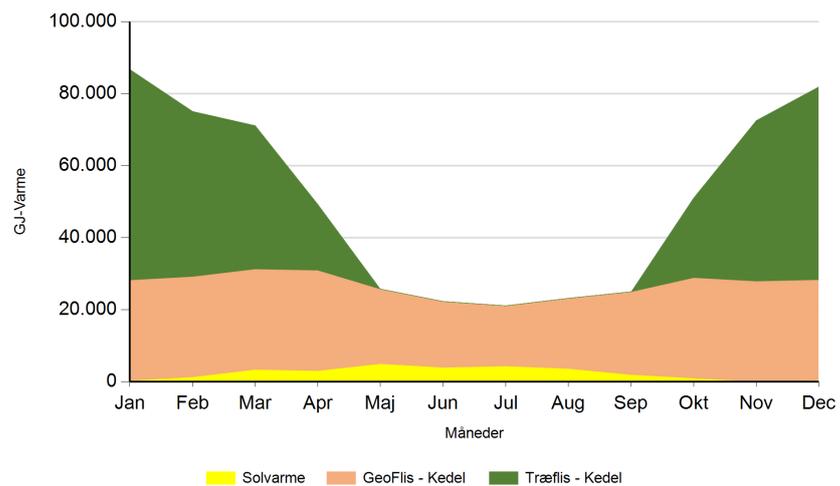


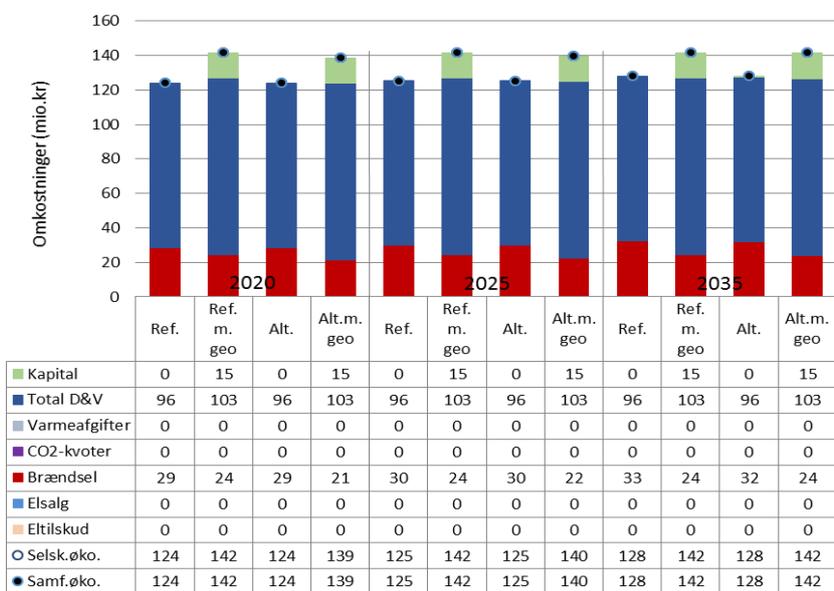
2025



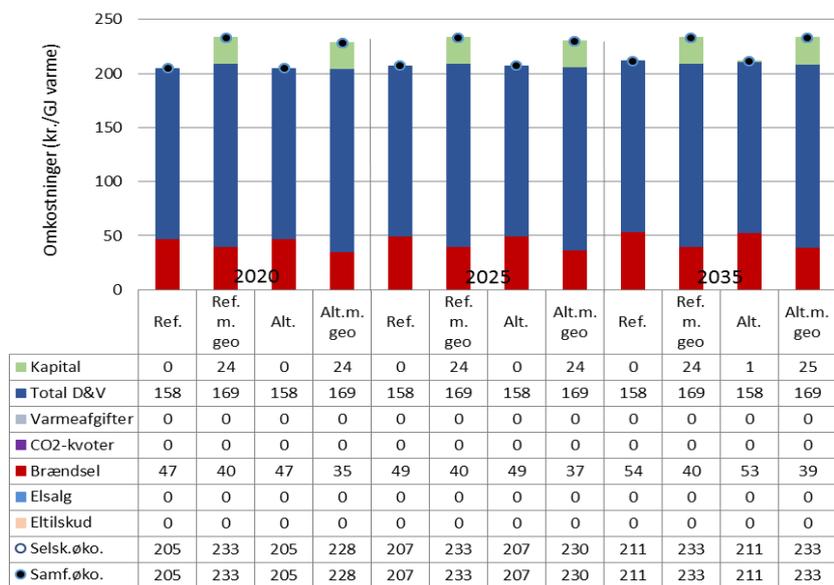
2035



Alt. med Geo. 2020

2025

2035

Figur 5: Fjernvarmeproduktion over året fordelt på brændsler og anlægstyper for Grenå.



Figur 6: Samlede varmeomkostninger for området Grenå



Figur 7: Samlede varmeproduktionsomkostninger for området Grenå

Det geotermiske screeningsprojekt

Grenå-lokaliteten

Henrik Vosgerau, Anders Mathiesen, Lars Kristensen,
Morten Sparre Andersen, Morten Leth Hjuler & Troels Laier



Indhold

1.	Introduktion	3
2.	Geologisk baggrund	5
3.	Resultater for Grenå-lokaliteten	8
3.1	Anbefalinger	10
4.	Datagrundlag	11
5.	Gennemgang af data	13
5.1	Udbredelse og kontinuitet af formationer og interne reservoirer	13
5.1.1	Seismisk tolkning og kortlægning.....	13
5.1.2	Boringsdata	15
5.2	Reservoirkvalitet	18
5.2.1	Tolkning af lithologi.....	21
5.2.2	Vurdering af tykkelser, lerindhold og porøsitet	23
5.2.3	Permeabilitet.....	24
5.2.4	Transmissivitet	25
5.3	Temperatur	26
5.4	Salinitet.....	28
6.	Referencer	29

1. Introduktion

I denne rapport præsenteres relevante geologiske data som grundlag for en vurdering af de dybe geotermiske muligheder ved en lokalitet beliggende i den sydlige del af Grenå på adressen Ravnsholtvej 2, 8500 Grenå (Figur 1). Udvælgelsen af lokaliteten er sket under hensynstagen til infrastrukturen på overfladen, herunder beliggenheden af eksisterende fjernvarmeanlæg og -net, samt ud fra driftsbetragtninger (primært temperatur og lastforhold).

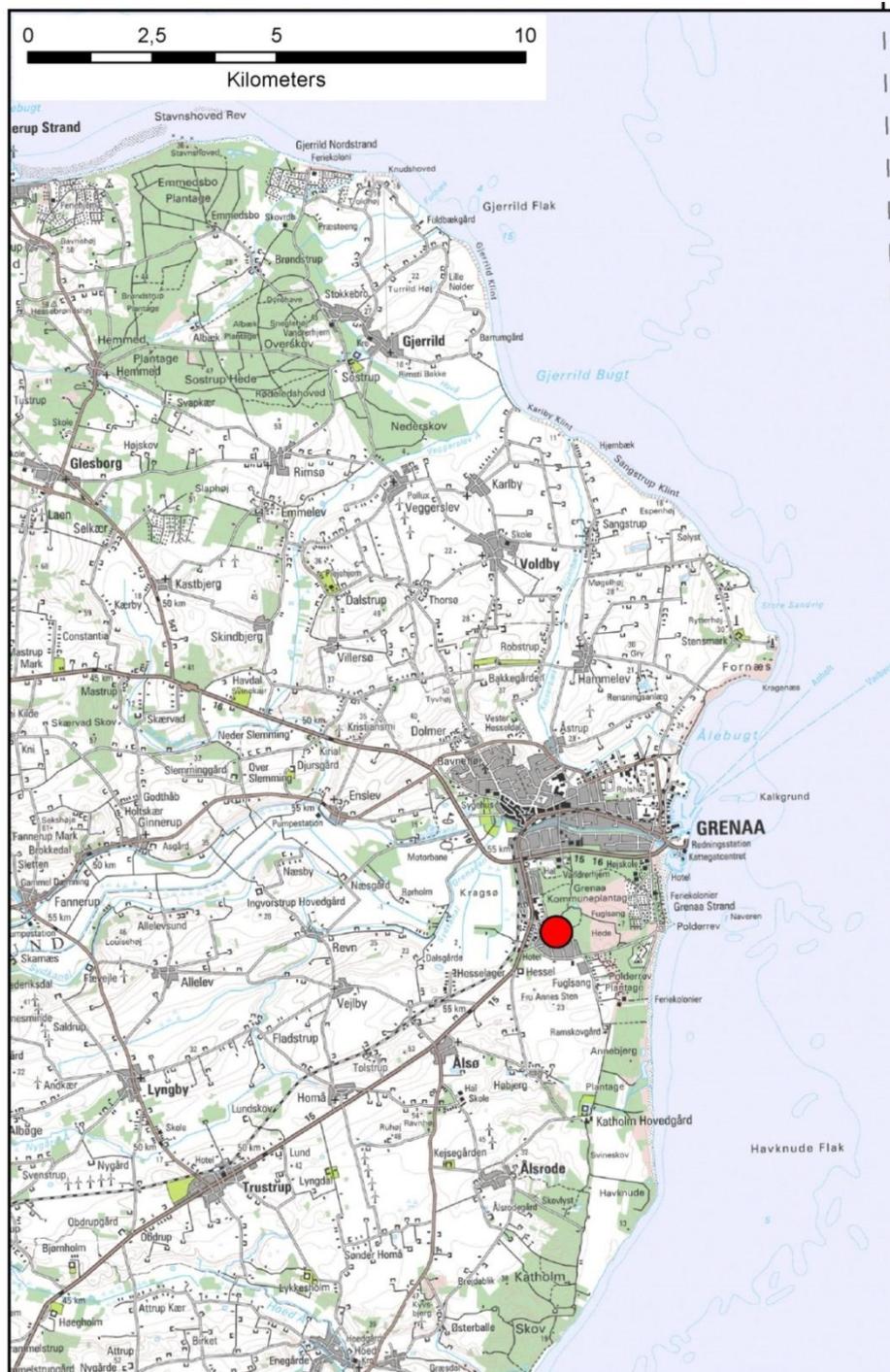
Grenå fjernvarmeområde udgør ét af 28 fjernvarmeområder, der skal screenes for de geotermiske muligheder ved en udvalgt lokalitet. Screeningen sker for midler afsat i den Energipolitiske aftale af 22. marts 2012. De 28 fjernvarmeområder er i udgangspunktet valgt ud fra, at deres varmemarked er større end 400 TJ/år, og at de dækker områder, hvor der forekommer formationer i undergrunden, som kan indeholde geotermiske sandstensreservoarer i det rette dybdeinterval for geotermisk indvinding. De geologiske data skal efterfølgende indgå som et input til at estimere varmeeffekt, geotermisk indvindingspotentiale, økonomi m.v. ved en eventuel realisering af et geotermianlæg og til efterfølgende at vurdere samfundsøkonomi samt selskabsøkonomi på det samlede varmemarked ved inkludering af geotermisk varmeproduktion.

De geologiske data fra screeningen af de 28 fjernvarmeområder indgår i en Geotermi WebGIS portal, hvori relevante geologiske data sammenholdes med henblik på at lave en screening af det geotermiske potentiale på landsplan. WebGIS portalen er under udarbejdelse af GEUS for midler, der ligeledes er afsat i den Energipolitiske aftale af 22. marts 2012.

Undergrundens geologiske opbygning kan variere betydeligt over selv korte afstande og som følge heraf, kan det geotermiske potentiale variere tilsvarende. En kortlægning af denne variation over større områder er meget omfattende, kræver ofte indsamling af supplerende geologiske data og ligger som følge heraf udenfor rammerne af indeværende screening. Den valgte lokalitet udgør derfor muligvis heller ikke det mest optimale sted for udnyttelse af geotermi i Grenåområdet, hvis der udelukkende tages udgangspunkt i de geologiske forhold. Geotermi WebGIS portalen vil udgøre et godt udgangspunkt til at vurdere geologien og variationen af det geotermiske potentiale over større områder.

Gennemgangen af Grenå-lokaliteten er opbygget således, at der i afsnit 2 gøres rede for regionale geologiske forhold og undergrundens opbygning. Det vurderes, at den primære dybe geotermiske reservoirmulighed ved lokaliteten udgøres af knap 45 meter sandsten, der er beliggende mere end 1845 meter under terræn. Sandstenene indgår i Frederikshavn Formationen, og den geologiske gennemgang og vurdering af undergrunden fokuserer derfor på denne formation. Geologiske nøgledata, der danner grundlag for en vurdering af det geotermiske potentiale ved Grenå-lokaliteten, og som udgør et input til efterfølgende økonomiske beregninger mm., er samlet i Tabel 3.1 i afsnit 3. Det er også i dette afsnit, at det geotermiske potentiale vurderes, og der gives anbefalinger til eventuelle supplerende undersøgelser, hvilket er særligt aktuelt i områder som Grenå, hvor geologiske data er mangelfulde. I de efterfølgende afsnit dokumenteres datagrundlaget, og hvordan de geologiske nøgledata er fremkommet samt delvist hvilke betragtninger og antagelser, der ligger bag dem. For en generel introduktion til anvendelsen af geotermisk

energi i Danmark ud fra en geologisk synsvinkel henvises der til WebGIS portalen. Heri gennemgås blandt andet hvilke typer geologiske data (reservoirdata, seismiske data, temperaturdata og salinitetsdata m.fl.), der indgår i vurderingen af et geotermisk potentiale og hvilke usikkerheder, der overordnet knytter sig til beregningen af disse.



Figur 1: Kort visende den omtrentlige beliggenhed af prognoselokaliteten (rød cirkel) i den sydligste del af Grenå.

2. Geologisk baggrund

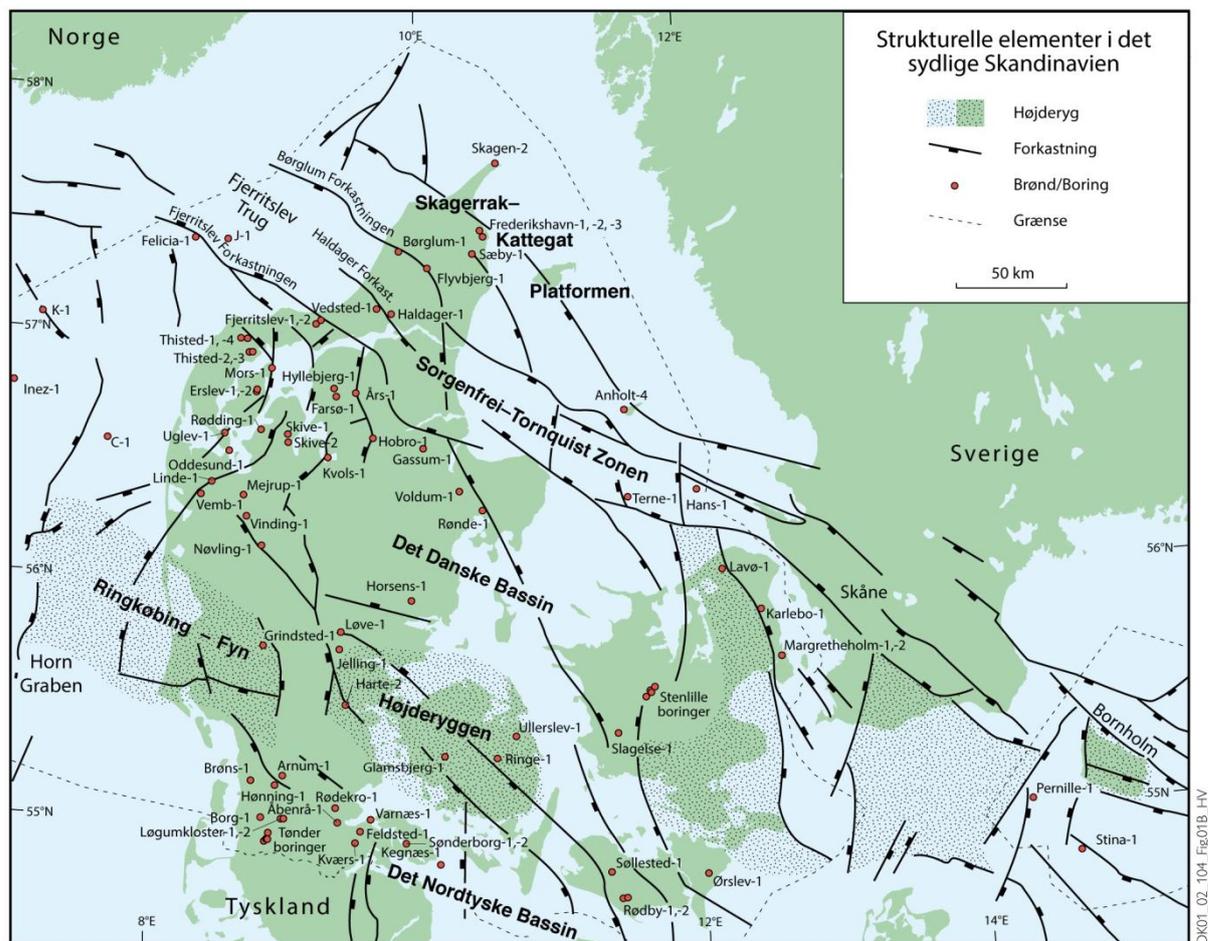
Grenå-området er beliggende i det Danske Bassin, som udgør den sydøstlige del af det Norsk–Danske Bassin, der blev dannet ved strækning af skorpen i Tidlig Perm tid. Mod syd afgrænses bassinet fra det Nordtyske Bassin ved Ringkøbing–Fyn Højderyggen, der er en del af et regionalt VNV–ØSØ-gående strøg af højtliggende grundfjeldsområder i undergrunden. Mod nordøst og øst afgrænses bassinet af den Fennoskandiske Randzone, som består af Sorgenfrei–Tornquist Zonen og Skagerrak–Kattegat Platformen, der udgør overgangen til det højtliggende grundfjeld i det Baltiske Skjold (Figur 2).

Efter en indledende aflejring af Rotliegend grovkornede klastiske sedimenter i det Danske Bassin og det Nordtyske Bassin fulgte en lang periode med indsynkning, hvor tykke aflejringer af Zechstein-salt blev dannet i bassinerne efterfulgt af aflejring af sand, mudder, karbonat og mindre saltdannelser i Trias og Tidlig Jura. Regional hævnning i tidlig Mellem Jura førte til en betydelig erosion af underliggende sedimenter, specielt op mod flankerne af og over det højtliggende grundfjeld i Ringkøbing–Fyn Højderyggen. Forkastningsbetinget indsynkning fortsatte dog i Sorgenfrei–Tornquist Zonen, hvor der aflejredes sand og mudder. Regional indsynkning fandt atter sted i løbet af den sene del af Mellem Jura og fortsatte generelt indtil Sen Kridt – Palæogen tid, hvor indsynkningen blev afløst af opløft og erosion relateret til den Alpine deformation og åbningen af Nordatlanten. Aflejringerne fra den sidste periode med indsynkning består af Øvre Jura – Nedre Kridt sandsten og i særdeleshed mudder- og siltsten efterfulgt af tykke karbonat- og kalkaflejringer fra Øvre Kridt, der udgør den øverste del af den mesozoiske lagserie i bassinerne. De betydelige mængder sedimenter, der blev aflejret gennem Mesozoikum, førte i perioder til, at underliggende aflejringer af Zechstein salt blev plastisk deformeret og nogle steder søgte op ad langs svaghedszoner. Dette resulterede nogle steder i, at de overliggende lag blev løftet op (på saltpuder) eller blev gennembrudt af den opstigende salt (af salt diapirer). Over saltstrukturerne kan lagene være eroderet helt eller delvis bort eller ikke være aflejret, hvorimod forøget indsynkning nedenfor saltstrukturernes flanker (i randsænkerne) kan have ført til, at selvsamme lag er ekstra tykke i disse områder. Saltbevægelsen har endvidere mange steder været ledsaget af forkastningsaktivitet, og da tektonisk betinget forkastningsaktivitet også har fundet sted, er den strukturelle kontinuitet som følge heraf lille i dele af det Danske Bassin.

I Grenå-området er Øvre Perm – Kvartær lagserien 4,5–5,5 km tyk (Vejbæk & Britze 1994). I området vurderes potentielle geotermiske sandstensreservoirer primært at være til stede i den Øvre Triassiske – Nedre Jurassiske Gassum Formation og den Øvre Jurassiske – Nedre Kretassiske Frederikshavn Formation (Mathiesen et al. 2013). Dette er baseret på, at formationerne vides at kunne indeholde geotermiske sandstensreservoirer, og at de i større områder vurderes til at være beliggende indenfor dybdeintervallet 800–3000 meter, der anses for egnet til dyb geotermisk indvinding. Kortlægningen af dybdeintervaller og indhold af sandsten er baseret på tilgængelige seismiske data og data fra dybe borer i undergrunden. Den geografiske dækning og kvaliteten af disse data er dog meget varierende, og det er som følge heraf også meget forskelligt med hvilken grad af sikkerhed, man kan udtale sig om det geotermiske potentiale fra område til område.

I Grenå-området er de nærmeste tilgængelige seismiske data af ringe eller moderat kvalitet, og den nærmeste dybe brønd, Rønde-1, er beliggende ca. 30 km fra prognoselokaliteten. Som følge heraf er kendskabet til udbredelsen, tykkelsen og dybden til Gassum og Frederikshavn formationerne begrænset. De seismiske data angiver dog, at toppen af Gassum Formationen er beliggende omkring 2430 meter under havniveau (m.u.h.) ved prognoselokaliteten og dermed i ca. samme niveau som i Rønde-1 (2571 m.u.h.). I Rønde-1 indeholder Gassum Formationen kun omkring 14 meter sandsten, og disse har dårlige reservoiregenskaber (eksempelvis er potentielt reservoirsand og reservoirtransmissivitet kun estimeret til henholdsvis 1,5 m og 0 Dm). Årsagen til de dårlige reservoiregenskaber er usikker, men kan muligvis tilskrives en særegen petrologisk sammensætning af sandstenene kombineret med høje tryk- og temperaturforhold relateret til den forholdsvis store dybde. Data fra den nærmeste brønd angiver således en stor risiko for, at Gassum Formationens reservoiregenskaber også er ugunstige ved prognoselokaliteten. Som en konsekvens heraf er der valgt i det efterfølgende at fokusere på Frederikshavn Formationen, selvom det generelle kendskab til denne formation er væsentligt mere begrænset end kendskabet til Gassum Formationen.

Frederikshavn Formationen er til stede i den østlige del af det Danske Bassin. Formationen er generelt 50–150 meter tyk, men kan i Sorgenfrei–Tornquist Zonen have tykkelser på mere end 230 meter. Mod vest tynder formationen ud og bliver mere finkornet indtil den afløses af den lerstens-dominerede Børglum Formation. Frederikshavn Formationen domineres af lag af siltsten og finkornet sandsten, der veksler med siltholdige lersten (Michelsen & Bertelsen 1979, Michelsen et al. 1981 og 2003). Mod nordøst stiger den generelle kornstørrelse samt tykkelsen og andelen af sandstenslag. Tynde lag af kalksten forekommer i den nederste og øverste del af formationen, ligesom der længst mod nordøst i Vendsyssel forekommer få cm-tykke kullag i den øverste del af formationen. Sedimenterne indeholder mineralkorn (glaukonit) og fossiler stammende fra havet og tolkes til overvejende at være aflejret i et marint miljø. I perioder herskede der dog ikke-marine forhold på Skagerrak–Kattegat Platformen og i dele af Sorgenfrei–Tornquist Zonen (Michelsen et al. 2003). Sedimenterne blev tilført det Danske Bassin fra nord, nordøst og øst fra det skandinaviske grundfjeldsområde. Sand blev hovedsageligt aflejret i delta- og kystmiljøer, der prograderede ud i bassinet i perioder med stabilt eller faldende havniveau for efterfølgende at blive oversvømmet i perioder med stigende havniveau, hvorved aflejringen af sand blev afløst af aflejring af silt og ler. Tilstedeværelsen af sandede lag i den sydvestlige del af bassinet indikerer, at Ringkøbing–Fyhne Højderyggen også kan have været en sedimentkilde under perioder med lavt havniveau.



Figur 2: De væsentligste strukturelle elementer i det sydlige Skandinavien inklusiv det Danske Bassin, Sorgenfrei-Tornquist Zonen, Skagerrak-Kattegat Platformen, Ringkøbing-Fyn Højderyggen og den nordligste del af det Nordtyske Bassin. Modificeret figur fra Nielsen (2003).

3. Resultater for Grenå-lokaliteten

De geologiske data for Frederikshavn Formationen ved Grenå-lokaliteten er samlet i Tabel 3.1. Usikkerheden på de angivne estimater bygger på en generel og erfaringsmæssig vurdering af tolknings-usikkerheden ved de forskellige typer af data (borehulslogs, porøsitet-permeabilitets sammenhænge etc.). Nogle af parametrene er indbyrdes afhængige, men de angivne usikkerheder knytter sig generelt til den enkelte parameter, og der er således ikke tale om akkumulerede usikkerheder. Specielt på reservoirdata er der store usikkerheder, og på GEUS pågår derfor et arbejde med at vurdere, om der er belæg for generelt at kunne reducere usikkerhedsbåndet på estimerede reservoirværdier.

Af tabellen fremgår det, at formationen vurderes til at være til stede ca. 1840–1912 m.u.h. og dermed i en dybde, der er positiv i relation til dyb geotermisk indvinding. Dette afspejler sig i temperaturen, der vurderes til at være 59 °C i midten af formationen. Endvidere vurderes flere af de øvrige parameterværdier til at være rimelige med hensyn til det geotermiske potentiale (f.eks. formationstykkelser, porøsitet, permeabilitet). Derimod er det kritisk, at reservoirtransmissiviteten kun vurderes til at være på 9 Darcy-meter. Reservoirtransmissiviteten er et udtryk for reservoirsandets geotermiske ydeevne, beregnet ved at gange tykkelsen af Potentielt reservoirsand med reservoirsandstens gennemsnitspermeabilitet efterfulgt af en erfaringsbaseret opskalering. Da reservoirtransmissiviteten bør være større end 10 Darcy-meter (Mathiesen et al. 2013*), ser det geotermiske potentiale ikke lovende ud ved prognoselokaliteten. Den store usikkerhed, der knytter sig til den estimerede værdi, muliggør dog transmissivitetsværdier på helt op til 63 Darcy-meter (Tabel 3.1). Transmissiviteten er beregnet ud fra de log-bestemte porøsiteter, men kun zoner med reservoir-kvalitet indgår i beregningen (zonerne er markeret som "Potentielt reservoirsand" i Figur 6–8). I beregningen er der således forudsat en vis minimumsporøsitet (>15 %) samt et relativt lavt ler-indhold (<30 %).

Det er endvidere problematisk, at lokaliteten ligger tæt på en hovedforkastning, da associerede forkastninger kan opsplitte Frederikshavn Formationen i nærheden af lokaliteten (dette er ikke muligt at afgøre på grundlag af de nuværende seismiske data af ringe kvalitet). Hvis der er forkastninger til stede, og disse ikke kortlægges, er der risiko for, at eventuelt kommende geotermiske produktions- og injektionsboringer placeres, så de ikke er i tilstrækkelig hydraulisk kontakt med hinanden.

Med hensyn til dæklag, der erfaringsmæssigt kan være nødvendige at fokusere på i boreprocessen, er Kridt og Danién lagseriens kalkaflejringer i området ca. 1590 meter tykke med toppen beliggende ca. 10 m.u.h.

**I Mathiesen et al. 2013 angives det, baseret på foreløbige kriterier, at reservoirets gennemsnitlige gas-transmissivitet i udgangspunktet er rimelig, hvis denne er større end 8 Darcy-meter. Værdien svarer efter GEUS' vurdering til en væsketransmissivitet på ca. 10 Darcy-meter.*

Tabel 3.1: Nøgledata, der danner grundlag for en vurdering af det geotermiske potentiale ved prognoselokaliteten og som vil udgøre et input til økonomiske beregninger mm.

Grenå-lokaliteten			
UTMz32 X: 616.318 m; Y: 6.251.381 m Terrænkote: 5 meter over havniveau (m.o.h.)			
Frederikshavn Formationen	Estimeret værdi	Vurderet usikkerhed ¹	Usikkerhedsinterval ²
			[MinCase - MaxCase]
Makro reservoirparametre			
Dybde til top af formation [m.u.h.]	1840	8 ³	1693–1987 ³
Tykkelse af formation [m]	72	50 ³	36–108 ³
Andel af sandsten i formationen			
Tykkelse af Gross sand [m]	63	20 ³	50–76 ³
Tykkelse af Potentielt reservoirsand ⁴ [m]	43	30 ³	30–56 ³
Potentielt reservoirsand/formation ⁵	0,60	30 ³	0,42–0,78 ³
Potentielt reservoirsand/Gross sand ⁶	0,68	30 ³	0,48–0,89 ³
Vandlevende egenskaber (reservoirsand)			
Porøsitet [%]	19	10 ³	17–21 ³
Gas-permeabilitet [mD]	160	6 ⁷	27–960 ⁷
Reservoir-permeabilitet ⁸ [mD]	200	6 ⁷	33–1200 ⁷
Reservoir-transmissivitet (Kh) ⁹ [Dm]	9	7 ⁷	1–63 ⁷
Temperatur			
Temperatur ¹⁰ [°C]	59	10 ³	53–65 ³
Tekstur og cementering (sandsten)		Vurdering	
Kornstørrelse/sortering/afrundingsgrad	Meget fin til finkornede, lokalt mellem til grovkornet, stedvis svagt siltet; sorteret til velsorteret; subkantede til velafrundede korn		
Diagenese/cementering	Svagt cementerede, svagt kalkholdige, stedvis hårde pyrit-cementerede horisonter		
Andre betydende parametre		Vurdering	
Salinitet	Kloridkoncentrationen er væsentlig under mætningspunktet for NaCl		
Sedimentologisk kontinuitet	Stor		
Strukturel kontinuitet	Lille; dog forholdsvis uforstyrret omkring prognoselokaliteten men forkastninger er observeret ca. 2,5 km nord for lokaliteten. De seismiske data er dog få og af ringe kvalitet		

¹ Vurderet usikkerhed benyttes til udregning af Usikkerhedsinterval og er erfarings- og vidensbaseret (se tekst for nærmere uddybning).

² Usikkerhedsinterval angiver variationsbredden for Estimeret værdi og kontrolleres af omfang og kvalitet af det tilgængelige datagrundlag.

³ Vurderet usikkerhed (målt i relative %). Usikkerhedsinterval givet ved Estimeret værdi +/- Vurderet usikkerhed (målt i relative %).

⁴ Tykkelse af Potentielt reservoirsand er estimeret ud fra afskæringskriterier på Vshale (< 30 %) og log-porøsitet (> 15 %).

⁵ Tykkelse af Potentielt reservoirsand divideret med Tykkelse af formation.

⁶ Tykkelse af Potentielt reservoirsand divideret med Tykkelse af Gross sand.

⁷ Usikkerhedsinterval givet ved Estimeret værdi divideret/ganget med Vurderet usikkerhed.

⁸ Reservoir-permeabilitet er den permeabilitet, som forventes målt i forbindelse med en pumpetest eller en brøndtest. Reservoir-permeabiliteten er estimeret ved at multiplicere Gas-permeabilitet med en opskaleringsfaktor på 1,25.

⁹ Reservoir-transmissiviteten er estimeret ud fra tolkning af logdata samt analyse af kernedata. Reservoir-transmissiviteten er opskaleret til reservoirforhold.

¹⁰ Temperatur er estimeret for midten af formationen ud fra en generel dybde-temperatur relation for det Danske Bassin.

3.1 Anbefalinger

Datatætheden og kvaliteten af data er generelt ringe i Grenå-området, og kendskabet til undergrunden er derfor meget begrænset. Der knytter sig derfor en forholdsvis stor usikkerhed til at ekstrapolere boredata fra så langt væk som Rønde-1 og Voldum-1 brøndene til prognoselokaliteten. Loganalyserne fra borerne viser lave transmissivitetsværdier på henholdsvis 2 og 9 Darcy-meter. Usikkerheden på denne kritiske parameter vil først kunne elimineres ved udførelsen af en boring ned gennem formationen ved eller i nærheden af prognoselokaliteten. Herved vil reservoirkvaliteten, inklusiv transmissiviteten, kunne vurderes ud fra indsamlede logs af god kvalitet, gode borespåne-beskrivelser, hydrauliske test af selve reservoiret samt eventuelt udtagne kerner af sandstensintervaller. En sådan boring vil dog være en risikabel investering set i lyset af, at det geotermiske potentiale i udgangspunktet ikke ser lovende ud.

Inden en boring udføres, vil det være nødvendigt at indsamle seismiske data for at kunne kortlægge, om der forekommer forkastninger i nærheden af prognoselokaliteten, og for at kunne bestemme de mest optimale placeringer af geotermi-brøndene. Ved en indsamling af nye seismiske data bør den seismiske linjeføring lægges således, at den via de eksisterende seismiske data knytter prognoselokaliteten til Rønde-1 og Gassum-1 brøndene. Endvidere bør den lægges således, at den omkring prognoselokaliteten muliggør en rumlig kortlægning af eventuelle forkastninger, der gennemskærer Frederikshavn Formationen. Det vurderes, at der skal indsamles i størrelsesordenen af 80 km ny seismik.

4. Datagrundlag

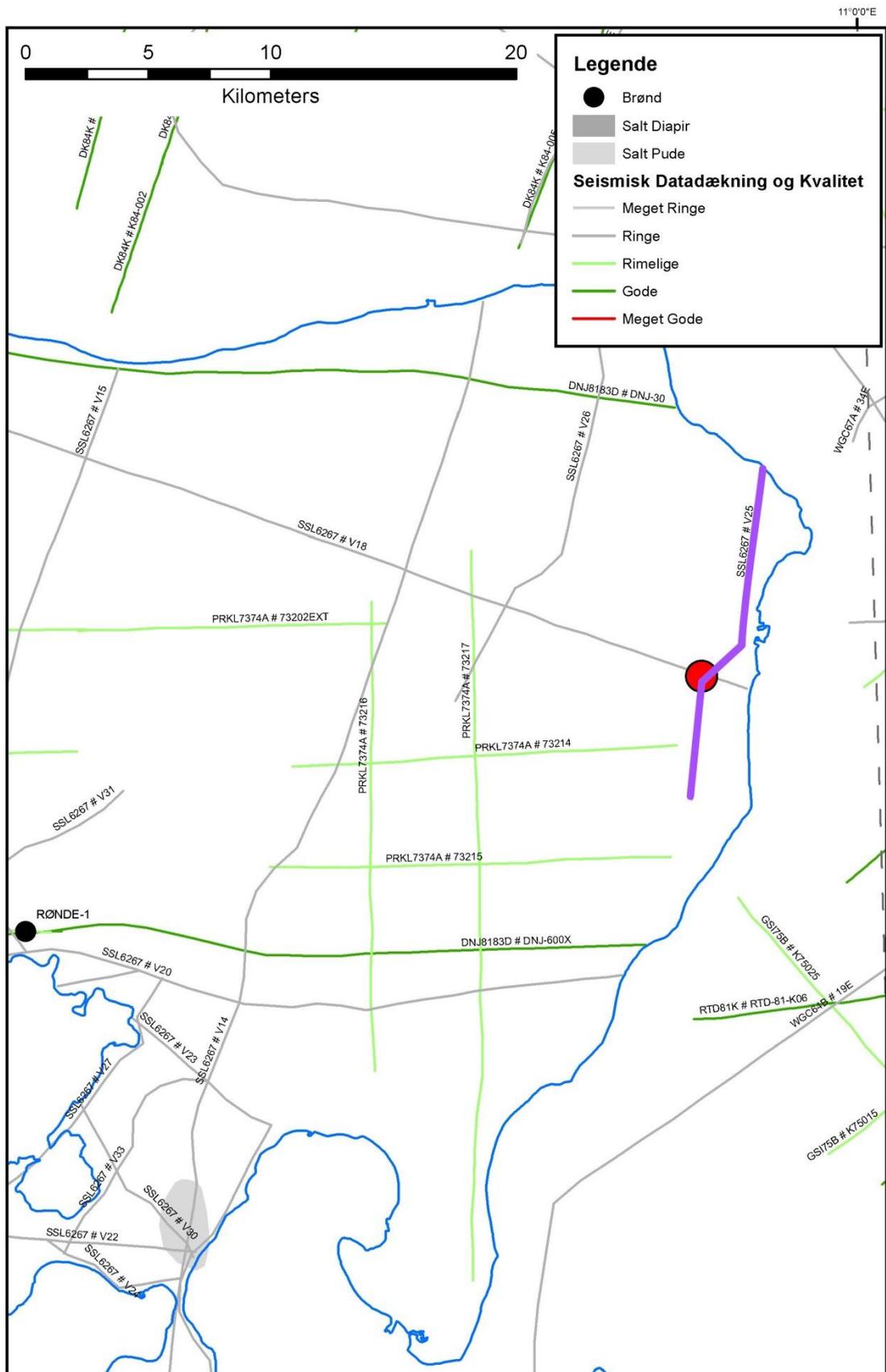
I Figur 3 er den tilgængelige database i Grenå-området og i regionen vist i form af placeringen af brønde samt placering og kvalitet af seismiske linjer. Bemærk placeringen af prognoselokaliteten og den forholdsvis store afstand fra denne til den nærmeste brønd (Rønde-1) samt at der kun findes et par seismiske linjer af ringe kvalitet i nærheden af prognoselokaliteten. Mængden og kvaliteten af tilgængelige data omkring Grenå er således begrænset.

De nærmeste dybe brønde er Rønde-1, Voldum-1, Terne-1, og Gassum-1, der er placeret henholdsvis ca. 30, 38, 39 og 57 km fra prognoselokaliteten (Figur 2). Terne-1 er udført offshore i modsætning til de øvrige borer, der alle er udført på land. I alle borerne blev Frederikshavn Formationen påvist, og der blev indsamlet logdata, som muliggør en vurdering af formationens reservoirkvalitet. I Tabel 4.1 fremgår dybdeinterval og tykkelse af Frederikshavn Formationen i de nævnte brønde. Endvidere er dybdeinterval og tykkelse af Kridt lagseriens kalkaflejringer vist, som udgør et "dæklag" for Frederikshavn Formationen. Dybde og tykkelse af kalkaflejringerne er også vurderet for prognoselokaliteten (afsnit 5) og er interessante, da de kan indgå i vurderingen af omkostninger til borefasen ved en eventuel etablering af et geotermisk anlæg. Overordnet set vurderes brønddækningen til at være ringe på grund af de store afstande mellem prognoselokaliteten og brøndene. Kvaliteten af brønddata vurderes som værende ringe til rimelig i vurderingen af lokaliteten.

Kvaliteten af de seismiske linjer, der er indsamlet i regionen, er markeret med farver i Figur 3 og 4 og angiver, hvor anvendelige de seismiske data er til at kortlægge formationer i det geotermiske dybdeinterval. Det er en overordnet kvalitetsangivelse, der i høj grad afspejler i hvilket år, de seismiske data blev indsamlet. Det fremgår af figurerne, at to seismiske linjer krydser hinanden i nærheden af prognoselokaliteten. Disse er dog af ringe kvalitet, og både den seismiske data-dækning såvel som kvaliteten af de seismiske data vurderes som værende ringe omkring prognoselokaliteten.

Tabel 4.1: De enkelte brøndes omtrentlige afstand til prognoselokaliteten er angivet i parentes under brøndnavnet. Brøndenes omtrentlige placering fremgår endvidere på oversigtskort i Figur 2. Formationer der ikke er gennemboret (ikke til stede), men hvor stratigrafisk dybereliggende lag er anført, er markeret med "-" i tabellen. Tykkelse er i meter, og dybdeinterval er i meter under havniveau (data fra Nielsen & Japsen 1991).

		Rønde-1 (30 km)	Voldum-1 (38 km)	Terne-1 (39 km)	Gassum-1 (57 km)
Kalk Gruppen	Dybdeinterval (m.u.h.)	87–1941	-8–1212	-	-28–944
	Tykkelse (m)	1854	1220	-	972
Frederikshavn Fm	Dybdeinterval (m.u.h.)	2008–2058	1278–1344	117–375	1020–1121
	Tykkelse (m)	50	66	258	101



Figur 3: Placering af prognoselokalitet (rød cirkel) og Rønnde-1 samt placering og kvalitet af seismiske linjer i regionen. Den del af den seismiske linje V25, som er fremhævet med fed lilla streg, er anvendt til at fremstille et seismisk profil med tolkede seismiske horisonter i Figur 5.

5. Gennemgang af data

I dette afsnit dokumenteres datagrundlaget og hvordan de geologiske nøgledata i Tabel 3.1 er fremkommet samt delvis hvilke betragtninger og antagelser, der ligger bag dem.

5.1 Udbredelse og kontinuitet af formationer og interne reservoirer

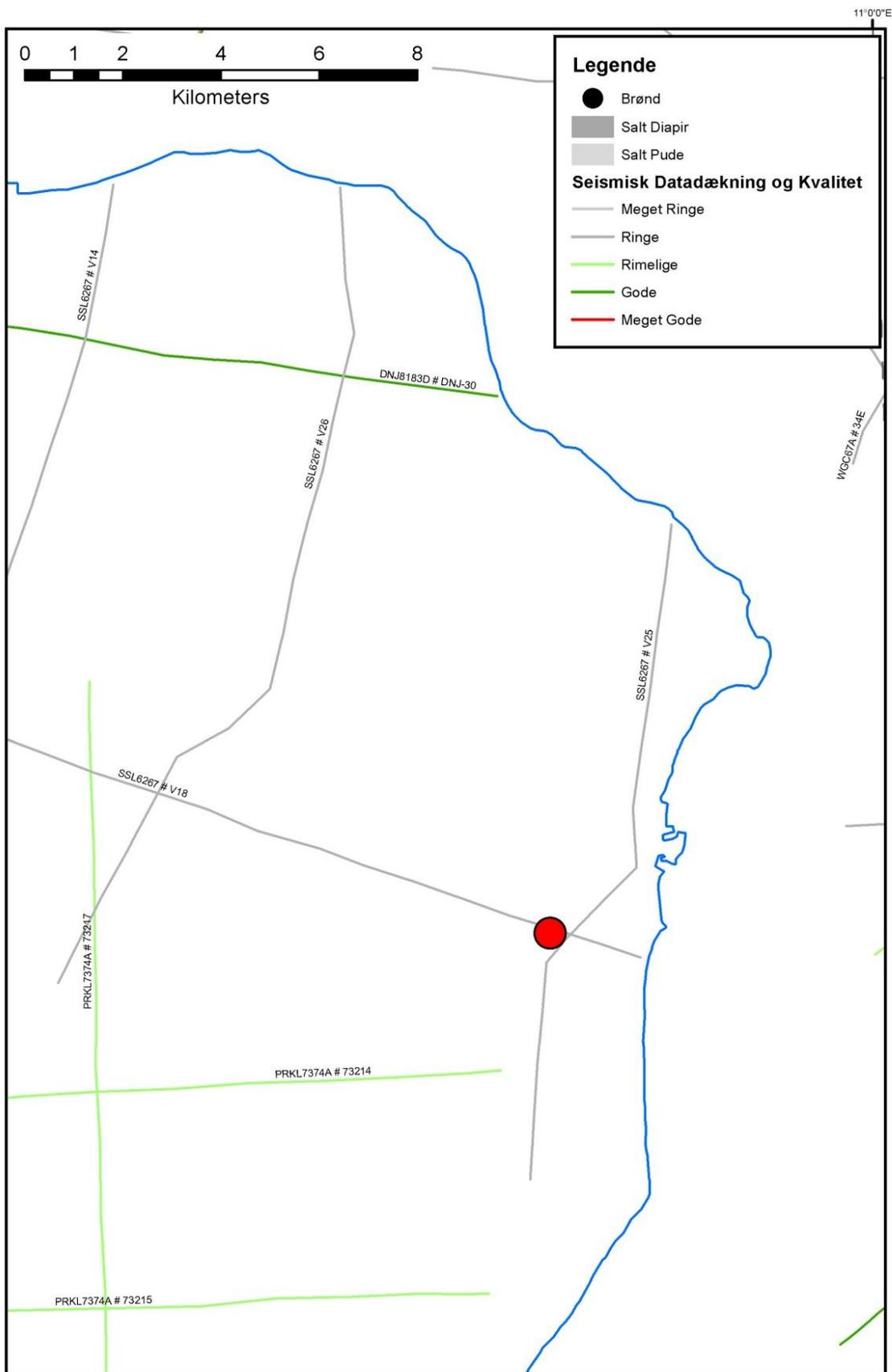
5.1.1 Seismisk tolkning og kortlægning

Dybder og tykkelser af udvalgte lagserier i undergrunden ved prognoselokaliteten ses i Tabel 5.1 og er baseret på delresultater af en igangværende og meget omfattende seismisk kortlægning, der vil munde ud i landsdækkende dybdekort til vigtige seismiske horisonter og formationsgrænser. Ud fra den seismiske kortlægning vurderes Frederikshavn Formationens top at være til stede ca. 1840 m.u.h. ved prognoselokaliteten med en vurderet usikkerhed på $\pm 8\%$. Tykkelsen af formationen vurderes til at være 100 meter $\pm 50\%$ ud fra den seismiske tolkning. Den store usikkerhed på tykkelsen skyldes, at formationen er vanskelig at identificere på de seismiske data. I Tabel 3.1 er Frederikshavn Formationens tykkelse ved prognoselokaliteten dog sat til 72 meter. Dette er et gennemsnit af formationens tykkelse i Rønde-1, Voldum-1 og Gassum-1 (Tabel 4.1), hvilket vurderes til at give et mere præcist bud på formationens tykkelse ved prognoselokaliteten end de seismiske data.

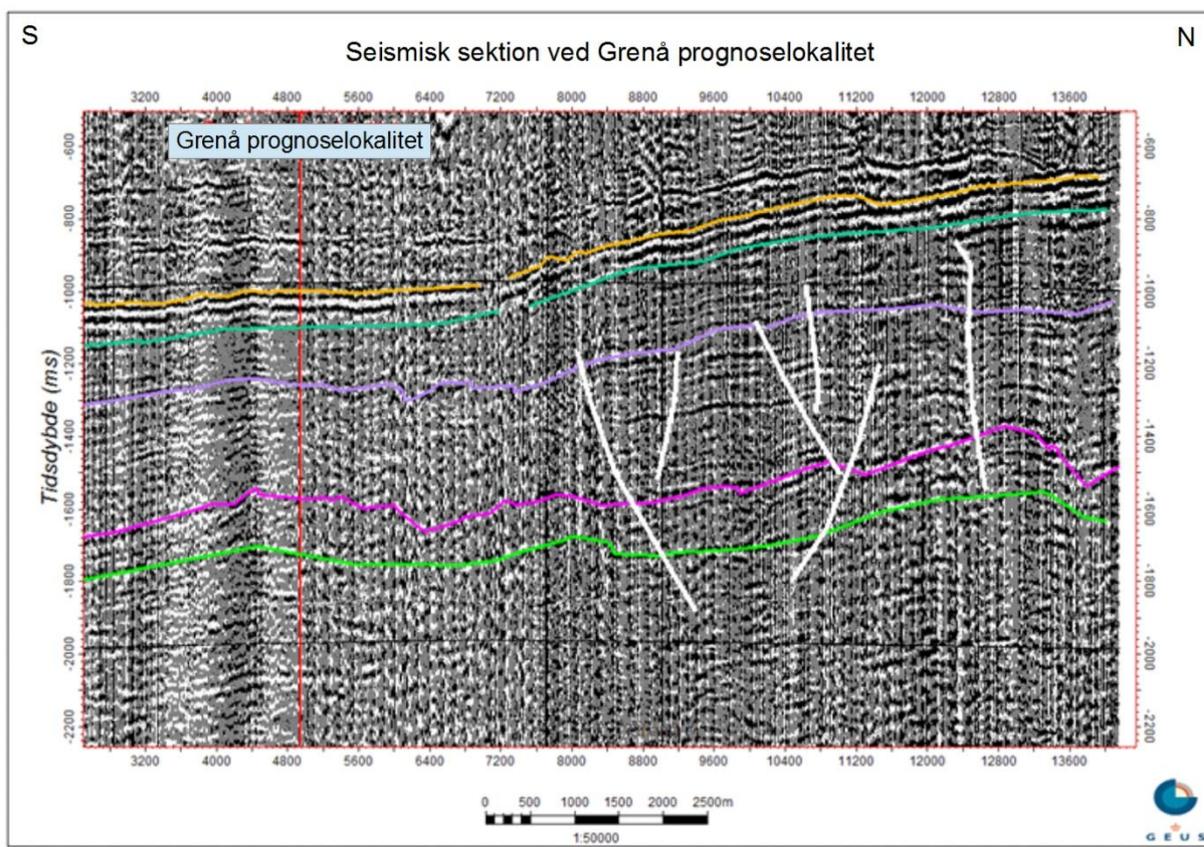
Den seismiske linje V25 (Figur 3 og 4) er anvendt til at fremstille et omtrent syd-nord orienteret seismisk profil, der passerer forbi prognoselokaliteten i en afstand af ca. 300 meter. Profilet er vist med tolkede seismiske horisonter i Figur 5. På profilet fremstår Frederikshavn Formationen forholdsvis uforstyrret omkring prognoselokaliteten, men ca. 2 km nord for lokaliteten ses overgangen til en kompliceret forkastningszone. På grund af den ringe seismiske datadækning er det dog ikke muligt at lave en rummelig kortlægning af undergrunden i nærområdet til prognoselokaliteten. Det kan som følge heraf heller ikke udelukkes, at der forekommer forkastninger gennem Frederikshavn Formationen ved lokaliteten.

Tabel 5.1: *Dybdeintervaller og tykkelser af udvalgte lagserier ved prognoselokaliteten, som er estimeret på baggrund af den igangværende landsdækkende seismiske kortlægning og information fra de nærmeste brønde.*

Prognoselokalitet	Dybdeinterval (m.u.h.)	Tykkelse (m)
Danien kalksten & Kalk Gruppen	10–1600	1590
Frederikshavn Fm	1840–1912	72
Fjerritslev Fm	1950–2430	480
Gassum Fm	2430–2610	180



Figur 4: Indsamlede seismiske linjer omkring prognoselokaliteten. En del af den seismiske linje V25 (markeret på Figur 3) er anvendt til at fremstille et seismisk profil med tolkede seismiske horisonter i Figur 5.



Figur 5: Seismisk profil baseret på den omtrent syd–nord orienterede seismiske linje V25, der passerer øst om prognoselokaliteten i en afstand af ca. 300 meter (Figur 3 og 4). Prognoselokaliteten er projiceret vinkelret ind på profilet og er markeret med en rød, lodret streg. Ca. 2 km nord for lokaliteten ses overgangen til en kompliceret forkastningszone (forkastninger er markeret som stejle hvide streger). Dybde er angivet som seismisk to-vejs-tid i millisekunder. Oppefra og ned er følgende tolkede horisonter vist på figuren: Basis af Kalkgruppen (orange), Top Frederikshavn Fm (turkisgrøn), Top Fjerritslev Fm (lilla), Top Gassum Fm (lyserød) og Top Vinding Fm (lysegrøn).

5.1.2 Boringsdata

Tabel 5.2 giver en oversigt over tykkelsen af Frederikshavn Formationen i de nærmeste brønde. Endvidere er der vist hvor mange meter sandsten (Gross sand), og heraf meter sandsten med gode reservoir egenskaber (Potentielt reservoirsand), formationen er estimeret til at indeholde i brøndene. I afsnit 5.2, og mere udførligt i Geotermi WebGIS portalen, gøres der rede for, hvordan disse størrelser estimeres på baggrund af logdata. Den nærmeste brønds placering ses i Figur 3, mens den omtrentlige placering af de brønde, der ligger længere væk fra prognoselokaliteten, ses i Figur 2.

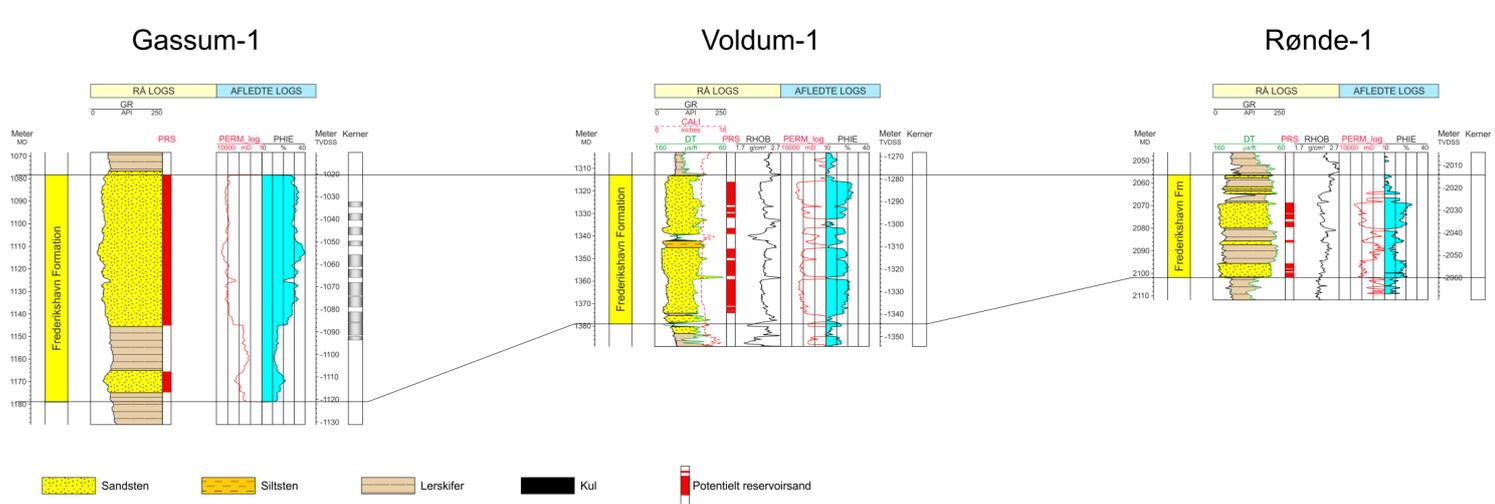
Det fremgår af tabellen, at Frederikshavn Formationen er markant tykkere i Terne-1 brønden end i de øvrige brønde, hvilket må tilskrives den større indsynkningsrate i Sorgenfrei–Tornquist

Zonen under aflejringen. Prognoselokaliteten er placeret syd for Sorgenfrei–Tornquist Zonen ligesom de øvrige brønde, hvilket gør data fra disse brønde mest relevante i en vurdering af formationens sandstensindhold samt sandstenenes reservoirkvalitet ved prognoselokaliteten. Det er mest oplagt at anvende reservoirdata fra Rønne-1 og Voldum-1, som er de nærmeste brønde til prognoselokaliteten, når der ses bort fra Terne-1. Ved prognoselokaliteten vurderes Frederikshavn Formationen til at ligge i en dybde, der er ca. 175 meter lavere end i Rønne-1, hvor formationens top befinder sig ca. 2014 m.u.h. Derimod er formationen beliggende i væsentlig lavere dybde i Voldum-1, hvor formationens top befinder sig ca. 1278 m.u.h. Voldum-1 er beliggende over en markant saltstruktur, og det er muligt, at formationen oprindeligt har befundet sig i væsentlig større dybde, men at efterfølgende saltbevægelse har løftet den op på sit nuværende niveau. Dette understøttes af, at reservoirsandstenene i Frederikshavn Formationen har forholdsvis ens porøsitet- og permeabilitetsværdier i Rønne-1 og Voldum-1 (Tabel 5.5 og 5.6) til trods for den nuværende dybdeforskel.

Formationens indhold af sandsten (Gross sand) stiger mod nordvest fra 15 meter i Rønne-1 til 63 meter i Voldum-1 og 66 meter i Gassum-1 (Tabel 5.2, Figur 6). Alt andet lige må det forventes, at formationens indhold af sandsten også stiger fra Rønne-1 mod prognoselokaliteten, da dette er i retning af sedimentkilden – det skandinaviske grundfjeldsområde. Formationens sandsten formodes oprindeligt at have været sammenhængende, da de er dannet ved kystens progradering ud i det Danske Bassin, og den sedimentologiske kontinuitet betragtes derfor som værende stor.

Tabel 5.2: *Tykkelser af Frederikshavn Formationen, estimerede antal meter sandsten (Gross sand), og heraf meter sandsten med gode reservoirgenskaber (Potentielt reservoirsand), i de nærmeste brønde, hvis omtrentlige placeringer ses på oversigtskortet i Figur 2.*

	Tykkelser/antal meter		
	Formation	Gross sand	Potentielt reservoirsand
Rønne-1	50	15	13
Terne-1	258	43	11
Voldum-1	66	63	43
Gassum-1	101	66	65



Figur 6: Sammenligning af Frederikshavn Formationens lithologiske sammensætning i Gassum-1, Voldum-1 og Rønde-1 (placering af brønde ses i Figur 2). Formationen er i borerne vist med dens vertikale tykkelser, og der er således korrigeret for borerne eventuelle afbøjning. MD: Målt dybde fra referencepunkt på boreplatform (venstre dybdeskala), TVDSS: Vertikale dybde under havniveau (højre dybdeskala).

5.2 Reservoirkvalitet

Der er i estimeringen af reservoirværdier for Frederikshavn Formationen ved prognoselokaliteten taget udgangspunkt i Voldum-1, da denne skønnes at være mest repræsentativ for prognoselokaliteten med hensyn til mængden af sandsten (Gross sand) og heraf sandsten med gode reservoirregenskaber (Potentiel reservoirsand). I forhold til prognoselokaliteten repræsenterer Rønde-1 formodentlig en position længere ude i bassinet, hvor tilførslen af sand var mindre. Dybdemæssigt er Rønde-1 mest repræsentativ for prognoselokaliteten. Porøsitet- og permeabilitetsværdierne er dog meget ens for formationens sandsten i Rønde-1 og Voldum-1, og derfor skønnes Voldum-1 også at være repræsentativ for prognoselokaliteten med hensyn til disse reservoirparametre.

Selve vurderingen af formationens lithologi ved prognoselokaliteten bygger på en tolkning af "wireline" logs kombineret med eksisterende beskrivelser af borespåner og kerner fra Voldum-1, Rønde-1 og Gassum-1 (Gulf 1966 og 1974, Danish American Prospecting 1951). Gassum-1 ligger noget længere væk fra prognoselokaliteten end de to øvrige brønde, men er alligevel medtaget, fordi der foreligger kernebeskrivelser for denne boring, som bidrager til karakteriseringen af Frederikshavn Formationen. Dybdeintervallet for Frederikshavn Formationen i de ovennævnte brønde ses i Tabel 5.3, hvor det også fremgår i hvilke af brøndene, der er udtaget kerner og sidevægskerner. De optagne og tolkede logs i brøndene er beskrevet nærmere i Tabel 5.4.

De tolkede reservoirværdier for Voldum-1 og Rønde-1 er vist i henholdsvis Tabel 5.5 og 5.6. Usikkerheden på de angivne estimater bygger på en generel og erfaringsmæssig vurdering af tolknings-usikkerheden ved de forskellige typer af data (borehuls logs, porøsitet-permeabilitets sammenhænge etc.). Ved sammenligning af Tabel 5.5 og 5.6 med Tabel 3.1 fremgår det, at usikkerheden på reservoirværdierne ved prognoselokaliteten generelt er større end de angivne usikkerheder på reservoirværdierne for Voldum-1 og Rønde-1. Dette er en naturlig følge af, at en ekstrapolering af dataværdier altid vil medføre en ekstra usikkerhed.

Tabel 5.3: *Overblik over dybdeintervaller i målt dybde fra referencepunkt på boreplatformen (MD) af Frederikshavn Formation i Voldum-1, Rønde-1 og Gassum-1 med tilhørende kommentarer om tilgængeligt kernemateriale fra formationen.*

Brønd	Dybdeinterval [m MD]	Kerner [m MD]	Sidevægskerner [m MD]
Voldum-1	1313–1379	Ingen	I 5 niveauer
Rønde-1	2056–2101	Ingen	Ingen
Gassum-1	1078–1179	Ca. 9 kerner dækkende en stor del af sandstensintervallerne	Ingen

Tabel 5.4: Liste over rå-logs anvendt i danske onshore borer og tolkede logkurver.

Beskrivelse	Log-navn	Enhed	Log-funktion
Gamma logs	GR	API	Måler naturlig radioaktivitet
	GR_DEN	API	Måler naturlig radioaktivitet sammen med densitetslog
	GR_SON	API	Måler naturlig radioaktivitet sammen med sonic log
Spontaneous potential log	SP	mV	Måler spontaneous potential ('selv-potentialet')
	GRpseudo	mV	Re-skaleret SP log
Sonic logs	DT	microsek/ft	Akustisk log; måler intervalhastighed
	DTCO	microsek/ft	Akustisk log; måler intervalhastighed
Caliper logs	CALI/CAL	Inch/tommer	Måler borehullets diameter
	CAL_NUC	Inch/tommer	Måler borehullets diameter, med neutron log
Resistivetslogs/ Modstandslogs	ILD	Ohm-m	Induktion log; dybt-læsende modstandslog
	ILM	Ohm-m	Induktion log; medium-læsende modstandslog
	LLS	Ohm-m	Laterolog; medium-læsende modstandslog
	LLD	Ohm-m	Laterolog; dybt-læsende modstandslog
	16ft	Ohm-m	Normal modstandslog af ældre dato
	38in	Ohm-m	Normal modstandslog af ældre dato
	10in	Ohm-m	Normal modstandslog af ældre dato
	18F8	Ohm-m	Lateral modstandslog af ældre dato
	64in	Ohm-m	Normal modstandslog af ældre dato
Neutron log	NPHI	fraction	Måler den tilsyneladende porøsitet (neutron-loggen kan være forkortet "NEU")
Densitets logs	RHOB	g/cm ³	Måler bulk-densiteten af bjergarten
	RHOZ	g/cm ³	Måler bulk-densiteten af bjergarten
Log-beregnet permeabilitet	PERM_log	mD	Beregnet log-kurve baseret på PHIE
Log-beregnet <i>effektiv</i> porøsitet	PHIE	fraction	Beregnet/tolket log kurve
Kernepermeabilitet	Kh_a	mD	Målt horisontal gas permeabilitet (på plugs)
	CPERM_GEUS	mD	Målt gas permeabilitet (på plugs; GEUS data)
Kerneporøsitet	CPOR	%	Målt porøsitet (på plugs)
	CPOR_GEUS	%	Målt porøsitet (på plugs; GEUS data)
Normaliseret gamma log	GRnorm	API	Beregnet/tolket log kurve
Log-beregnet lermængde	Vshale	fraktion	Beregnet/tolket log kurve
Indikator for potentielt reservoirsand (PRS)	PRS	m	Log-udledt kurve ("flag") der indikerer, hvor der er potentielt reservoirsand (PRS)

Tabel 5.5: *Estimerede reservoirværdier for Frederikshavn Formationen i Voldum-1 brønden.*

Voldum-1			
Frederikshavn Formationen	Estimeret værdi	Vurderet usikkerhed ¹	Usikkerhedsinterval²
			[MinCase - MaxCase]
Makro reservoirparametre			
Dybde til top af formation [m.u.h.]	1278	1 ³	1265–1291 ³
Tykkelse af formation [m]	66	1 ³	65–67 ³
Andel af sandsten i formationen			
Tykkelse af Gross sand [m]	63	5 ³	59–66 ³
Tykkelse af Potentielt reservoirsand ⁴ [m]	43	6 ³	40–46 ³
Potentielt reservoirsand/formation ⁵	0,65	6 ³	0,61–0,69 ³
Potentielt reservoirsand/Gross sand ⁶	0,69	6 ³	0,65–0,73 ³
Vandlevende egenskaber (reservoirsand)			
Porøsitet [%]	19	6 ³	18–20 ³
Gas-permeabilitet [mD]	160	5 ⁷	32–800 ⁷
Reservoir-permeabilitet ⁸ [mD]	200	5 ⁷	40–1000 ⁷
Reservoir-transmissivitet (Kh) ⁹ [Dm]	9	5 ⁷	2–54 ⁷
Tekstur og cementering (sandsten)		Vurdering	
Kornstørrelse/sortering/afrundingsgrad	Meget fin til fin kornstørrelse; sorteret til velsorteret; afrundede korn		
Diagenese/cementering	Svagt kalkholdig og svagt cementeret		

¹ *Vurderet usikkerhed* benyttes til udregning af *Usikkerhedsinterval* og er erfarings- og vidensbaseret (se tekst for nærmere uddybning).

² *Usikkerhedsinterval* angiver variationsbredden for *Estimeret værdi* og kontrolleres af omfang og kvalitet af det tilgængelige datagrundlag.

³ *Vurderet usikkerhed* (målt i relative %). *Usikkerhedsinterval* givet ved *Estimeret værdi* +/- *Vurderet usikkerhed* (målt i relative %).

⁴ *Tykkelse af Potentielt reservoirsand* er estimeret ud fra afskæringskriterier på Vshale (< 30 %) og log-porøsitet (> 15 %).

⁵ *Tykkelse af Potentielt reservoirsand* divideret med *Tykkelse af formation*.

⁶ *Tykkelse af Potentielt reservoirsand* divideret med *Tykkelse af Gross sand*.

⁷ *Usikkerhedsinterval* givet ved *Estimeret værdi* divideret/ganget med *Vurderet usikkerhed*.

⁸ *Reservoir-permeabilitet* er den permeabilitet, som forventes målt i forbindelse med en pumpetest eller en brøndtest. *Reservoir-permeabiliteten* er estimeret ved at multiplicere *Gas-permeabilitet* med en opskaleringsfaktor på 1,25.

⁹ *Reservoir-transmissiviteten* er estimeret ud fra tolkning af logdata samt analyse af kernedata. *Reservoir-transmissiviteten* er opskaleret til reservoirforhold.

Tabel 5.6: *Estimerede reservoirværdier for Frederikshavn Formationen i Rønde-1 brønden.*

Rønde-1			
Frederikshavn Formationen	Estimeret værdi	Vurderet usikkerhed ¹	Usikkerheds- interval²
			[MinCase - MaxCase]
Makro reservoirparametre			
Dybde til top af formation [m.u.h.]	2008	1 ³	1988–2028 ³
Tykkelse af formation [m]	50	1 ³	50–51 ³
Andel af sandsten i formationen			
Tykkelse af Gross sand [m]	15	5 ³	15–16 ³
Tykkelse af Potentielt reservoirsand ⁴ [m]	13	5 ³	12–13 ³
Potentielt reservoirsand/formation ⁵	0,25	5 ³	0,24–0,27 ³
Potentielt reservoirsand/Gross sand ⁶	0,83	5 ³	0,79–0,87 ³
Vandlevende egenskaber (reservoirsand)			
Porøsitet [%]	19	5 ³	18–20 ³
Gas-permeabilitet [mD]	150	4 ⁷	38–600 ⁷
Reservoir-permeabilitet ⁸ [mD]	188	4 ⁷	47–752 ⁷
Reservoir-transmissivitet (Kh) ⁹ [Dm]	2	4 ⁷	1–8 ⁷
Tekstur og cementering (sandsten)		Vurdering	
Kornstørrelse/sortering/afrundingsgrad	Hovedsageligt meget fin til fin kornstørrelse, i nogle intervaller grovkornet og lokalt konglomeratisk; ingen oplysninger om sorteringsgrad; subkantede til velafrundede korn		
Diagenese/cementering	Hård med pyrit-cementerede horisonter		

¹ *Vurderet usikkerhed* benyttes til udregning af *Usikkerhedsinterval* og er erfarings- og vidensbaseret (se tekst for nærmere uddybning).

² *Usikkerhedsinterval* angiver variationsbredden for *Estimeret værdi* og kontrolleres af omfang og kvalitet af det tilgængelige datagrundlag.

³ *Vurderet usikkerhed* (målt i relative %). *Usikkerhedsinterval* givet ved *Estimeret værdi* +/- *Vurderet usikkerhed* (målt i relative %).

⁴ *Tykkelse af Potentielt reservoirsand* er estimeret ud fra afskæringskriterier på Vshale (< 30 %) og logporøsitet (> 15 %).

⁵ *Tykkelse af Potentielt reservoirsand* divideret med *Tykkelse af formation*.

⁶ *Tykkelse af Potentielt reservoirsand* divideret med *Tykkelse af Gross sand*.

⁷ *Usikkerhedsinterval* givet ved *Estimeret værdi* divideret/ganget med *Vurderet usikkerhed*.

⁸ *Reservoir-permeabilitet* er den permeabilitet, som forventes målt i forbindelse med en pumpetest eller en brøndtest. *Reservoir-permeabiliteten* er estimeret ved at multiplicere *Gas-permeabilitet* med en opskaleringsfaktor på 1,25.

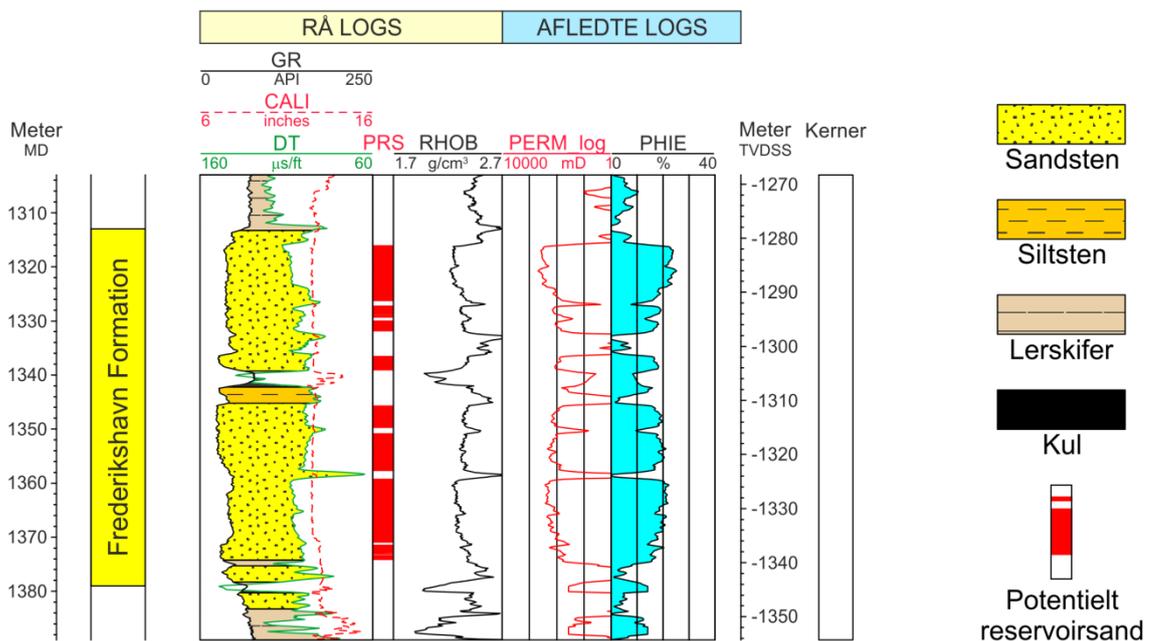
⁹ *Reservoir-transmissiviteten* er estimeret ud fra tolkning af logdata samt analyse af kernedata. *Reservoir-transmissiviteten* er opskaleret til reservoirforhold.

5.2.1 Tolkning af lithologi

På baggrund af logdata og eksisterende beskrivelser af opboret materiale samt udtagne kerner fra Gassum-1 har GEUS tolket variationen af den bjergartsmæssige sammensætning indenfor Frederikshavn Formationen, dvs. en tolkning af lithologien og primært fordelingen af sand- og lersten (Figur 6–8).

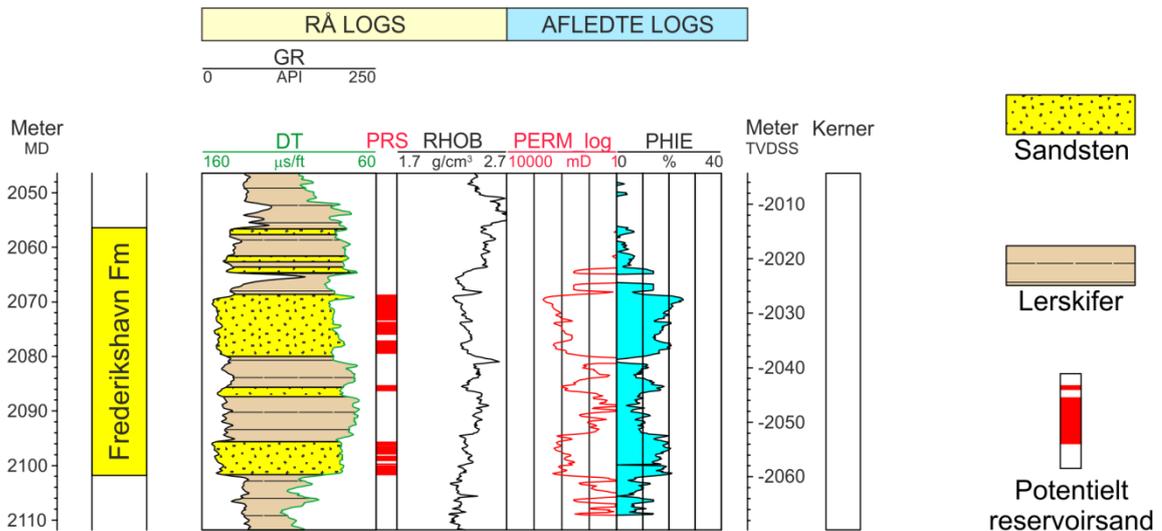
Borespåne-beskrivelserne fra de tre borer samt kerne-beskrivelserne fra Gassum-1 understøtter log-tolkningen, og desuden fremgår det af beskrivelserne, at sandstenene i formationen hovedsageligt er meget fin til finkornede, og at der lokalt kan forekomme tynde sandstenslag, som er mellem til grovkornede (Danish American Prospecting 1951, Gulf 1966 og 1974). Sandstenene kan endvidere være svagt siltede. Baseret på sparsomme oplysninger kan sandstenene karakteriseres som værende sorterede til velsorterede med subkantede til velafrundede sandkorn. Sandstenene er svagt cementerede og svagt kalkholdige, stedvis med hårde pyrit-cementerede horisonter.

Voldum-1



Figur 7: Petrofysisk log-tolkning af Frederikshavn Formationen i Voldum-1 inklusiv en tolkning af lithologien. Lithologikolonnen er afgrænset af gamma (GR) og sonic (DT) loggene. Sektioner med Potentielt reservoirsand (PRS) er markeret med rødt fyld. Porositetsestimatet (PHIE) er fremhævet med lyseblåt fyld, og permeabilitetsestimatet (PERM_log) er plotet som en rød kurve. Logforkortelserne er forklaret i Tabel 5.4. Formationen er i boringen vist med dens vertikale tykkelse. MD: Målt dybde fra referencepunkt på boreplatform, TVDSS: Vertikale dybde under havniveau.

Rønde-1



Figur 8: Petrofysisk log-tolkning af Frederikshavn Formationen i Rønde-1 inklusiv en tolkning af lithologien. Lithologikolonnen er afgrænset af gamma (GR) og sonic (DT) loggene. Logforkortelserne er forklaret i Tabel 5.4. Sektioner med Potentielt reservoirsand (PRS) er markeret med rødt fyld. Porøsitetsestimatet (PHIE) er fremhævet med lyseblåt fyld, og permeabilitetsestimatet (PERM_log) er plottet som en rød kurve. Formationen er i boringen vist med dens vertikale tykkelse. MD: Målt dybde fra referencepunkt på boreplatform, TVDSS: Vertikale dybde under havniveau.

5.2.2 Vurdering af tykkelser, lerindhold og porøsitet

I Voldum-1 og Rønde-1 er Frederikshavn Formationen henholdsvis 66 og 50 meter tyk, hvoraf Gross sand udgør ca. 63 meter i Voldum-1 og ca. 15 meter i Rønde-1 (Tabel 5.2). Tolkningen af Gross-sandets tykkelse er baseret på en forudgående tolkning af ler-mængden ud fra gamma-loggen, idet det antages, at mængden af ler er proportional med gamma-loggens respons fratrukket baggrundsstrålingen (Tabel 5.7).

På baggrund af tolkningen af ler-mængden er andelen af Gross sand herefter bestemt som den del af et givet dybdeinterval, der har et ler-indhold på mindre end 30 %. Ligeledes er andelen af Potentielt reservoirsand vurderet ud fra den log-tolkede porøsitet samt ler-mængden, idet der både stilles krav til en vis minimumsporøsitet og et maksimalt lerindhold. GEUS har i den forbindelse valgt at definere Potentielt reservoirsand ud fra følgende kriterier: porøsiteten (PHIE) skal være større end 15 %, og samtidig skal ler-indholdet (Vshale) være mindre end 30 %. Ud fra disse kriterier er mængden af Potentielt reservoirsand vurderet til ca. 43 og 13 meter i henholdsvis Voldum-1 og Rønde-1. Den gennemsnitlige porøsitet af reservoir-sandet er ud fra log-tolkning bestemt til ca. 19 % i begge brønde (Tabel 5.5 og 5.6). Porøsitetstolkningen er baseret på en ler-korrigeret densitets-log, og

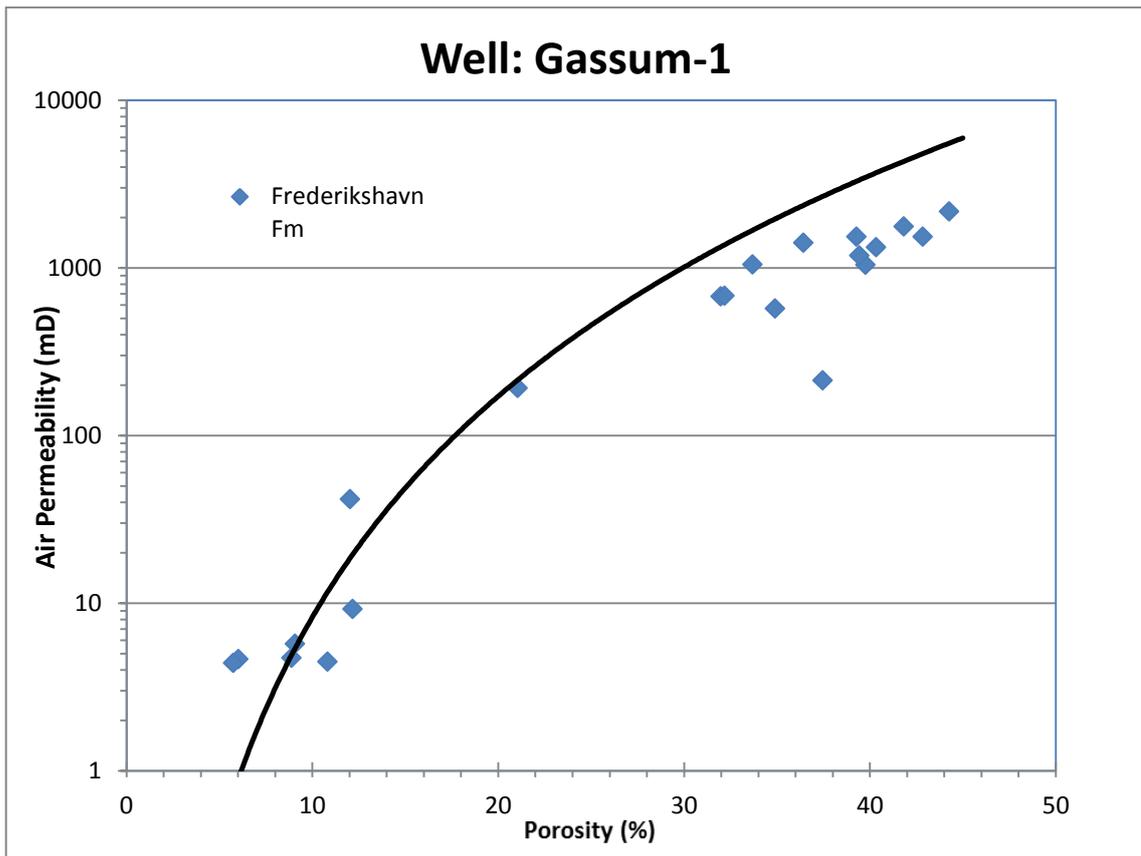
der er anvendt en sandstensdensitet på $2,65 \text{ g/cm}^3$ svarende til densiteten for ren kvarts. Porøsitetmålinger på kernemateriale fra Gassum-1 giver en gennemsnitlig porøsitet for Frederikshavn Formationen på 28 %, hvilket er væsentligt højere end de 19 %, som antages at gælde ved prognoselokaliteten ved Grenå. Den antagne porøsitet på 19 % kan derfor vise sig at være et for konservativt estimat.

Tabel 5.7: Responsparametre for gamma-ray (GR) log for Voldum-1 og Rønde-1 boringerne.

Responsparametre for gamma-ray, (GR) log	GR_min (baggrundsstråling)	GR_max (respons for rent ler)
Voldum-1	34	115
Rønde-1	70	70

5.2.3 Permeabilitet

Permeabiliteten er bestemt på kerner fra Frederikshavn Formationen i Gassum-1. Disse målinger indgår i GEUS' regionale porøsitet-permeabilitets relation, der er baseret på kerneanalysedata fra en række danske landboringer (Figur 9). GEUS forventer, at denne landsdækkende korrelation også gælder for Grenå-området, og permeabiliteten er dernæst beregnet for hver log-læsning, dvs. log-porøsiteterne er omregnet til log-permeabiliteter for hver halve fod (15 cm). Under anvendelse af de føromtalt 'cut-off' værdier er den gennemsnitlige gas-permeabilitet (vægtet gennemsnit) for reservoirsandstenene estimeret til ca. 160 mD for Voldum-1 og til ca. 150 mD for Rønde-1. Dette svarer til reservoir-permeabiliteter på omtrent 200 og 188 mD for henholdsvis Voldum-1 og Rønde-1. Beregningen af reservoir-permeabiliteten bygger på en opskalering af de laboratoriebestemte gas-permeabiliteter til reservoirforhold efterfulgt af en omregning til væskepermeabilitet. De to brønde (Voldum-1 og Rønde-1) blev ikke prøvepumpet, og det er således ikke muligt at vurdere permeabiliteten ud fra testdata. Vurderingen af permeabiliteten bygger derfor i dette tilfælde på erfaringsmæssige sammenhænge, f.eks. som vist i Figur 9, og herudover er tidligere foretagne vurderinger af Frederikshavn Formationen udenfor studieområdet udnyttet. Det er således antaget at GEUS' regionale porøsitet-permeabilitets relation også gælder for Frederikshavn Formationen, i alt fald indenfor det porøsitetsinterval, der anses for at være gældende i Grenå-området (dvs. 15–25 %).



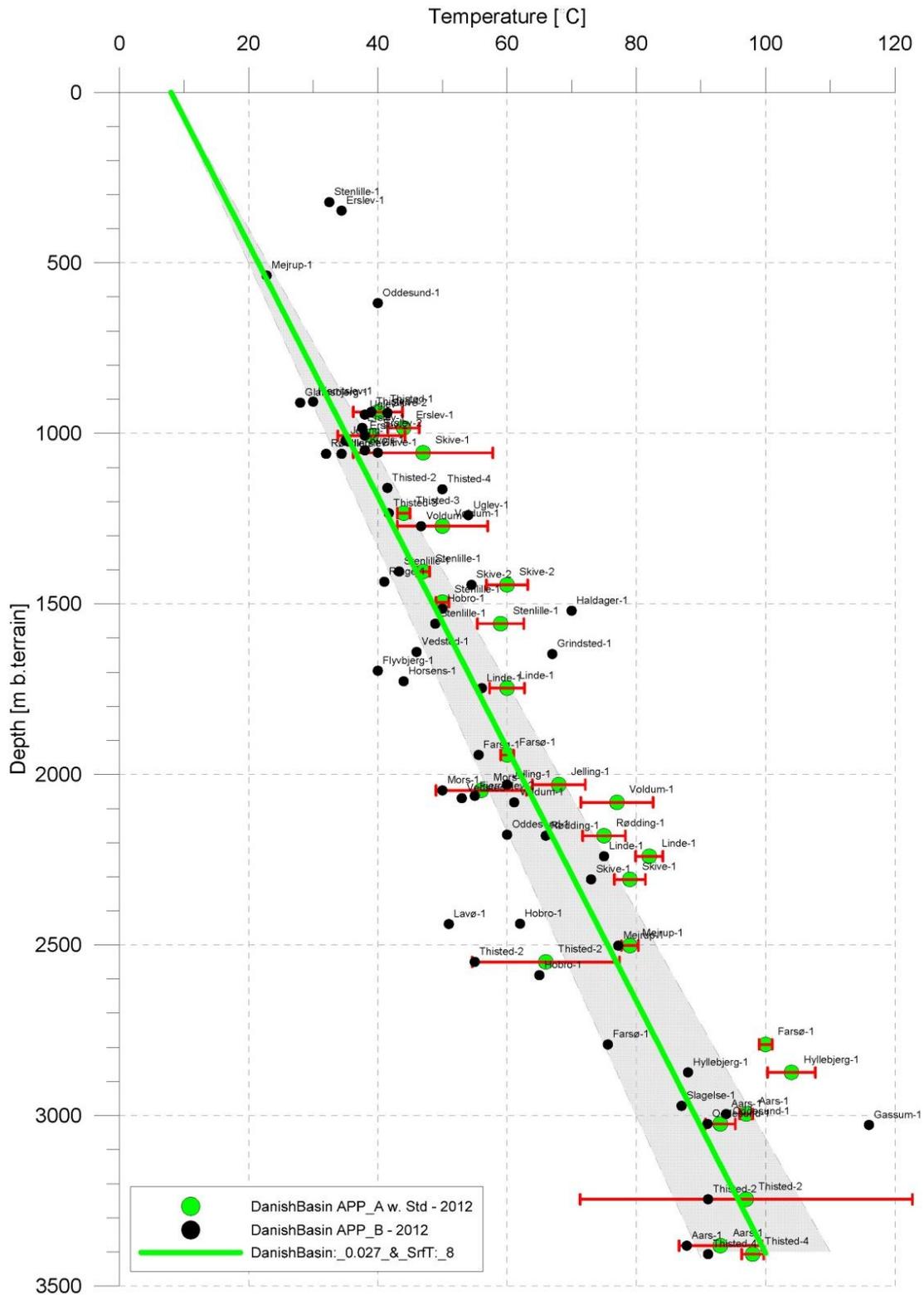
Figur 9: Porøsitet-permeabilitets plot. Punktdata repræsenterer Frederikshavn Formationen og data stammer fra Gassum-1 boringen, hvor porøsitet og permeabilitet blev målt på en række plug prøver. Kurven viser GEUS' regionale porøsitet-permeabilitets model, der repræsenterer en generaliseret sammenhæng mellem porøsitet og permeabilitet estimeret ud fra kerneanalyse data, primært fra sandstenslag fra andre formationer end Frederikshavn Formationen.

5.2.4 Transmissivitet

Endelig er den forventede transmissivitet beregnet på baggrund af den estimerede reservoir-permeabilitet ganget med tykkelsen af Potentielt reservoirsand. Kort beskrevet er transmissiviteten beregnet som en akkumuleret værdi baseret på de enkelte log-læsninger, de foretagne vurderinger af Potentielt reservoirsand efterfulgt af en erfaringsbaseret opskalering. Transmissiviteten er således en forventet reservoir-transmissivitet; denne er i Voldum-1 vurderet til ca. 9 Darcy-meter, i Rønde-1 til ca. 2 Darcy-meter og ved prognoselokaliteten til ca. 9 Darcy-meter. På baggrund af det tilgængelige datamateriale vurderer GEUS, at usikkerheden på den forventede transmissivitet ved prognoselokaliteten mest hensigtsmæssigt kan beskrives ved en dividere/gange faktor på 7; svarende til at dividere, henholdsvis gange, den estimerede transmissivitet med denne faktor. Faktoren indeholder en samlet usikkerhed knyttet til estimeringen af permeabiliteten og tykkelsen af Potentielt reservoirsand samt til ekstrapolering af boringsdata til prognoselokaliteten.

5.3 Temperatur

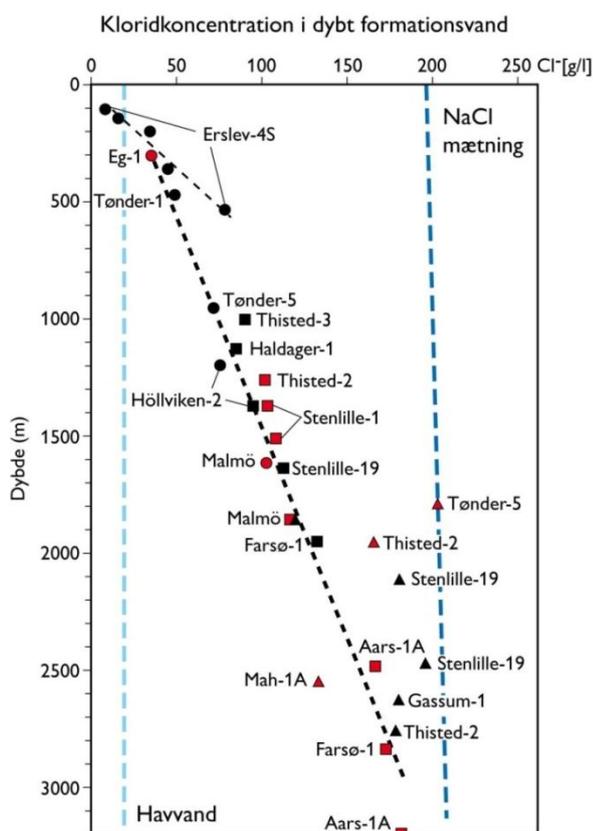
Temperaturen i midten af Frederikshavn Formationen er ved prognoselokaliteten vurderet til $59\text{ °C} \pm 10\%$ ud fra en generel dybde-temperatur relation for det Danske Bassin. Relationen baserer sig på temperaturmålinger i dybe boringer i bassinet og er givet ved: $\text{Temp.} = 0,027 \cdot \text{dybde} + 8\text{ °C}$ (Figur 10). Ved prognoselokaliteten er dybden i ligningen sat til 1881 meter og er baseret på den estimerede dybde fra havniveau til toppen af formationen (1840 meter; se Tabel 3.1) tillagt terrænkote (5 meter) og estimerede antal meter fra top til centrum af formationen (36 meter).



Figur 10: Estimeret dybde-temperatur relation (grønne linje) for det Danske Bassin baseret på alle relevante temperaturdata fra dybe brønde (Poulsen et al. 2013). Endvidere er der vist et usikkerhedsbånd på $\pm 10\%$ (gråt område).

5.4 Salinitet

Ud fra målinger af kloridkoncentrationen i forskellige dybe brønde er der udarbejdet en generel relation mellem dybden og kloridkoncentrationen for formationer, der ikke overlejres af saltlag (Figur 11). Ud fra relationen må der forventes en kloridkoncentration på ca. 122 g/l i en dybde af 1881 meter under terræn svarende til ca. midten af Gassum Formationen ved prognoselokaliteten. Kloridkoncentrationen er dermed væsentlig lavere end mætningspunktet for NaCl, der ligger på omkring 203 g/l Cl^- ved den pågældende formationstemperatur/-dybde. Alvorlige problemer med saltudfældning som følge af afkøling i et geotermisk anlæg forventes kun, hvis formationsvandet er helt tæt på mætning med NaCl.



Figur 11: Saltholdigheden i dybt formationsvand givet ved kloridkoncentrationen. Klorid-analyserne er foretaget på vandprøver indsamlet i forbindelse med prøvepumpninger (rød signatur) eller vandprøver fra kerner eller andet (sort signatur). Med sort stiplede linje er der vist en tilnærmet lineær relation mellem dybde og kloridkoncentrationen baseret på analyser af vandprøver fra formationer, der ikke overlejres af saltlag. En enkelt undtagelse er dog vandanalysen fra Tønder-5 (rød trekant), der viser mættede saltforhold, og som er medtaget til sammenligning. Vandprøven er fra Bunter Sandsten Formationen, som i Tønder-området overlejrer Zechstein salt og selv overlejres af Röt salt. Den mørkeblå stiplede linje angiver ved hvilke kloridkoncentrationer i dybden, der kan forventes mættede forhold. Den lyseblå stiplede linje er ikke dybderelateret, men angiver kloridkoncentrationen i havvand og er medtaget som sammenligningsgrundlag. Trias (▲), Jura inkl. yngste Trias (■), Kridt-Tertiær (●).

6. Referencer

Danish American Prospecting 1951: Gassum-1, Completion report (Compiled March 1993).

Gulf 1966: Rønde-1, Drilling report.

Gulf 1974: Voldum-1X, Completion report.

Mathiesen, A., Kristensen, L., Nielsen, C.M., Weibel, R., Hjuler, M.L., Røgen, B., Mahler, A. & Nielsen, L.H. 2013: Assessment of sedimentary geothermal aquifer parameters in Denmark with focus on transmissivity. European Geothermal Congress 2013, Pisa, 3–7 June 2013.

Michelsen, O. & Bertelsen, F. 1979: Geotermiske reservoirformationer i den danske lagserie. Danmarks Geologiske Undersøgelse, Årbog 1978, 151–164.

Michelsen, O., Saxov, S. Leth, J.A, Andersen, C., Balling, N., Breiner, N., Holm, L., Jensen, K., Kristensen, J.I., Laier, T., Nygaard, E., Olsen, J.C., Poulsen, K.D., Priisholm, S., Raade, T.B., Sørensen, T.R. & Würtz, J. 1981: Kortlægning af potentiell geotermiske reservoirer I Danmark. Danmarks Geologiske Undersøgelse Serie B, 5, 96 p.

Michelsen, O., Nielsen, L.H., Johannessen, P.N., Andsbjerg, J. & Surlyk, F. 2003: Jurassic lithostratigraphy and stratigraphic development onshore and offshore Denmark. In: Ineson, J.R. & Surlyk, F. (eds): The Jurassic of Denmark and Greenland. Geological Survey of Denmark and Greenland Bulletin 1, 147–216.

Nielsen, L.H. 2003: Late Triassic – Jurassic development of the Danish Basin and the Fennoscandian Border Zone, southern Scandinavia. In: Ineson, J.R. & Surlyk, F. (eds): The Jurassic of Denmark and Greenland. Geological Survey of Denmark and Greenland Bulletin 1, 459–526.

Nielsen, L.H. & Japsen, P. 1991: Deep wells in Denmark 1935-1990: Lithostratigraphic subdivision. Danmarks Geologiske Undersøgelse Serie A, 31, 177 p.

Poulsen, S.E., Balling, N. & Nielsen, S.B. 2013: Analysis of bottom hole temperatures on – and nearshore Denmark. Progress report, Department of Geoscience, Aarhus University, 22 pp.

Vejbæk, O.V. & Britze, P. 1994: Geologisk kort over Danmark/Geological map of Denmark 1:750.000. Top præ-Zechstein/Top pre-Zechstein. Danmarks Geologiske Undersøgelse Kortserie, 45, 9 pp.