



**COWI**



# **Landsdækkende screening af geotermi i 28 fjernvarmeområder**

**Bilag 3: Områderapport for Sønderborg**



## 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 Sønderborg - Beskrivelse fjernvarmeområde  
 DATO 17. februar 2014  
 TIL Energistyrelsen  
 KOPI  
 FRA COWI (Else Bernsen/Kurt Madsen)  
 PROJEKTNR A044062

ADRESSE COWI A/S  
 Parallevej 2  
 2800 Kongens Lyngby

TLF +45 56 40 00 00

FAX +45 56 40 99 99

WWW cowi.dk

SIDE 1/7

## 1 Sønderborg Fjernvarme

### 1.1 Nuværende forsyningsområde

Nedenstående figur viser Sønderborg fjernvarmes nuværende forsyningsnet.



Figur 1.1 *Oversigtskort over energidistrikterne i og omkring Sønderborg By samt Sønderborg Fjernvarmes Forsyningsnet*

Distributionsnettene i distrikterne 1A – Sønderborg by, 1B Dybbøl og 1C Frydendal, er sammenkoblet til et sammenhængende distributionssystem.

Varmen til dette system produceres primært ved affaldsforbrænding på det affalds- og naturgasfyrede kraftvarmeværk på Vestermark samt på Sønderborg Fjernvarmes nye geotermiske anlæg, hvor varmen dels kommer fra undergrunden og dels fra flisforbrænding, som drivmiddel for absorptionsvarmepumper. Geotermianlægget er idriftsat medio 2013. Som spids- og reservelast er 5 kedelcentraler fordelt med én på Bøffelkobbelvej (Dybbøl/Frydendal), én på Sundquistsgade (hovedcentral), én på Kløvermarken (Røjum), Nørrekobbøl (Central Nord). Kedelcentralerne kan fyres med olie eller naturgas. Nyudstyknings forsynes fra mindre flytbare oliefyrede centraler.

Distributionsnettene i distrikterne 2A- Vollerup samt distrikterne 2B- Høruphav og 2C Kirke Hørup er indbyrdes koblet sammen men er ikke forbundet med distributions- og produktionssystemet i Sønderborg by. Fjernvarmeproduktionen i Vollerup/Høruphav/Kirke Hørup-er i dag baseret på solfangerne og biooliekedlerne.

Nedenstående tabel angiver varmebehovet for Sønderborg Fjernvarme samlet og for de to separate distributionsnet.

<b>Varmegrundlag</b>					
<b>Sønderborg by, Dybbøl og Frydendal</b>					
<b>MWh/år</b>	2011*	2012**	2015***	2025***	2035***
Eksisterende forbrugsbase Netto varme	246.125	224.283	224.283	224.283	224.283
Distributionstab	67.985	63.964	63.964	63.964	63.964
An net	314.110	288.248	288.248	288.248	288.248
TJ/år	1131	1038	1038	1038	1038
<b>Vollerup, Høruphav, Kirke Hørup</b>					
<b>MWh/år</b>	2011	2012	2015	2025	2035
Eksisterende forbrugsbase Netto varme	4.438	11.274	14.500	25.300	25.300
Distributionstab	1.045	2.475	3.183	5.554	5.554
An net	5.483	13.749	17.683	30.854	30.854
TJ/år	20	49	64	111	111
<b>Total Sønderborg Fjernvarme MWh/år</b>					
Nettovarme	250.563	235.557	238.783	249.583	249.583
Distributionstab	73.468	66.439	67.147	69.518	69.518
An net	319.593	301.997	305.931	319.101	319.101
<b>Total Sønderborg Fjernvarme TJ/år</b>					
Nettovarme	902	848	860	898	898
Distributionstab	264	239	242	250	250
An net	1151	1087	1101	1149	1149
Energistyrelsens Udbud angiver som gns 5 år	1035 TJ/år samlet an net.				
* Baseret på oplysninger fra Sønderborg FJV i forbindelse med undersøgelse i 2011					
** Baseret på DF Årsstatistik 2012 - fordeling på de to distributionsnet mangler					
** Fordelingen er baseret på data i en nyt projektforslag for Vollerup/Høruphav/Kirke Hørup					
*** Udsagn fra møde 11/12 2013. Varmebehov i Sønderborg by konstant (besparelser + mindre opfyldning af området)					
*** Øget tilslutning til nyt fjernvarmesystem i Vollerup/Høruphav/Kirke Hørup. Distributionstab 18%					

Opgørelserne er som nævnt baseret på forskellige kilder og estimater samt på de indledende drøftelser med Sønderborg Fjernvarme. I forbindelse med den videre proces anmodes Sønderborg Fjernvarme om at godkende/verificere opgørelsen.

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

Sommer an net		Vinter an net	
Fremløb	Retur	Fremløb	Retur
[°C] 2010 - 3 årig strukturanalyse			
78	51	83	45

Der arbejdes løbende på at reducere temperaturniveauet og på mødet 11/12 2013 vurderede selskabet at den typiske fremløbstemperatur nu er reduceret til ca. 60



°C sommer og ca. 70 °C vinter. Distributionsnettet i Sønderborg by er fuldt udnyttet og kapacitetsforholdene vanskeliggør yderligere temperaturreduktioner.

## 1.2 Nuværende produktionsstruktur

Nedenstående tabel giver en oversigt over den nuværende varmeproduktionsstruktur hos Sønderborg Fjernvarme:

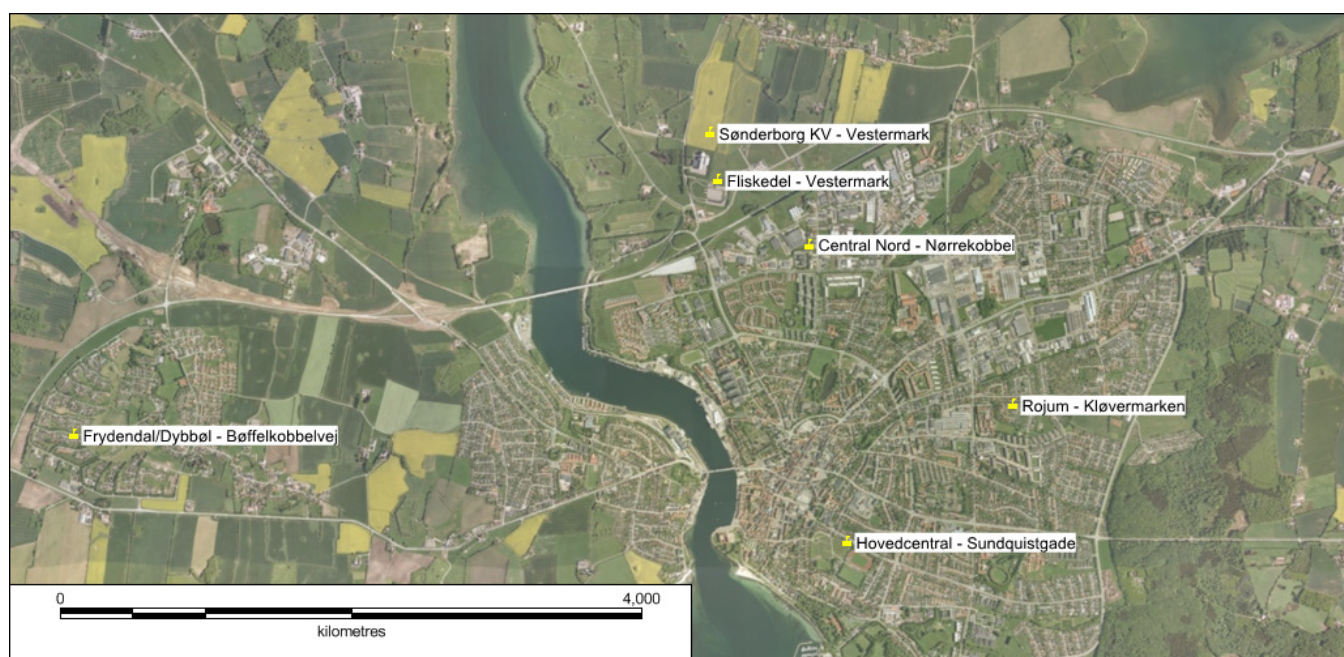
Eksisterende produktionsanlæg - baseret på energiproducenttællingen 2012												Brændselsfordeling		
Anlægsnavn	Anlægstype	Hovedbrændsel	Varme produktion i 2012 (TJ)	*Brændsels forbrug 2012 (TJ)	Indfyret effekt (MW)	Eleffekt (MW)	Varme effekt (MW)	Elvirknings grad	**Varme virknings grad	Etablerings år	Forventet udfasning år	NG	Affald	Biomasse
<b>Sønderborg by</b>														
Sønderborg KV - kombianlæg - Vestermark	Kombianlæg	Affald/naturgas	575	839	138	58	60	42%	43%	01-04-1996		86,1	675,7	77,6
Fliskedel - Vestermark	Kedel	Flis	152	152	20	0	20		100%	18-06-2012				
Geotermi - først fra 2013														
Hovedcentral - Sundquistgade	Kedel	Naturgas	6	6	36		36		100%	01-01-1963				
Central Nord - Nørrekobbel	Kedel	Naturgas	198	198	19	0	19		100%	01-01-1964				
Røjum - Kløvermarken	Kedel	Naturgas	143	143	40	0	40		100%	01-01-1963				
Frydendal/Dybbøl - Bøffelkobbelvej	Kedel	Naturgas	18	18	5	0	5		100%					
<b>Vollerup/Hørup hav/Kirke Hørup</b>														
Solvarmeanlæg - 5866 m2 (Sunmark)	Solvarme	Solenergi	26	26	4		4		100%	04-04-2009				
Solvarmeanlæg - 2929 m2	Solvarme	Solenergi	13	13	2		2		100%	01-04-2012				
Kedel	Kedel	Bioolie	43	43	5		5		93%	04-04-2009				
<b>Total</b>			1.175				191							
Heraf Sønderborg by			1.093				180							
Heraf Vollerup, Høruphav, Kirke Hørup			82				11							

Oplysningerne i energiproducenttællingen er baseret på indmeldinger fra selskaberne. Data skal suppleres/verificeres i forbindelse med den videre proces.

\* Brændselsforbruget jvf energiproducenttællingen for kedeldrift identisk med varmeproduktion svarer til den samlede el og varmeproduktion og den angivne totalvirkningsgrad på 85% ( 42%+43%)

\*\* Varmevirkningsgraderne er baseret på de angivne værdier for indfyret effekt og varmeeffekt. Bortset fra kedelanlægget i Vollerup medfører angivelserne kedelvirkningsgrader på 100%

Anlæggenes geografiske placering er illustreret på figur 1.2



Figur 1.2 - Placering af produktionsanlæg i Sønderborg By.

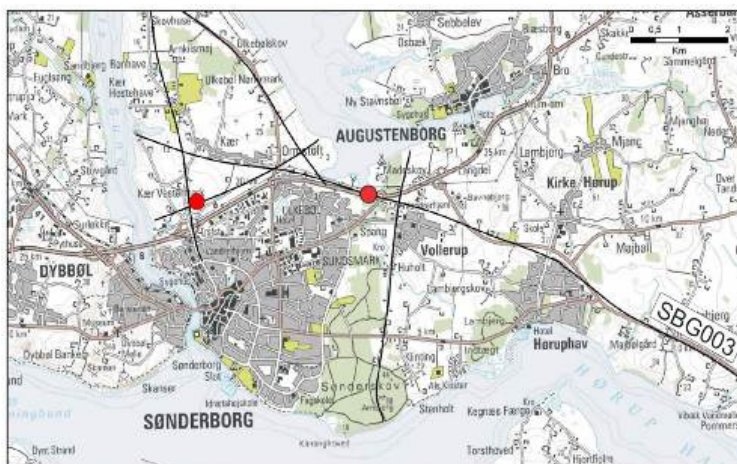
Nedenstående beskrivelse af de nuværende produktionsforhold er baseret på Årsrapport for Sønderborg Fjernvarme for 2012 samt på drøftelser på mødet 11/12 2013.

I 2012 er der på kraftvarmeanlægget forbrændt 64.350 tons affald, og der er brugt ca. 8,5 mio. m<sup>3</sup> naturgas. Der er fremstillet ca. 598.000 GJ varme (575.0000 GJ i ovenstående tabel), svarende til ca. 54% af Fjernvarmens totale varmeproduktion på ca. 1.200.000 GJ (incl Vollerup). Stort set alt varmen fra Kraftvarmeværket er i 2012 fremstillet på affaldsforbrændingsanlægget. Årsagen er, at Kraftvarmeværkets gasturbine nu er sat ud af normal drift og at Fjernvarmens flisanlæg er sat i drift. Kraftvarmeværkets gasturbine står stadig driftsklar og kan hurtigt kobles ind i normal drift, hvis det skulle blive nødvendigt.

Ejerkredsen bag I/S Sønderborg Kraftvarmeværk har indgået en driftsaftale med Sønderborg Fjernvarme A.m.b.a. Aftalen betyder, Sønderborg fjernvarme A.m.b.a. fremadrettet vil stå for driften af Sønderborg Kraftvarmeværk I/S. Aftalen træder i kraft fra 1. januar 2014.

Det geotermiske anlæg består dels af anlægget på geotermipladsen i Spang og dels af den nye central på Vestermark, der indeholder både et flisanlæg og varmepumper. Sønderborg Fjernvarme ejer og driver det geotermiske anlæg.

Anlægsplaceringerne er illustreret på nedenstående figur.



Figur 1.3 - Anlægsplaceringer geotermianlæg i Sønderborg

2 stk. ca. 1,2 km dybe borer er placeret i Spang. Borerne ligger helt tæt på hinanden ved jordoverfladen, men i en dybde på ca. 100 m går de skråt ud til hver side, således at afstanden mellem de 2 borer er ca. 800 m fra hinanden i dybden på ca. 1,2 km. Det 48 grader varme geotermiske vand fra produktionsboringen overføres i varmevekslere til fjernvarmevandet, hvor det afgiver sin varmenergi, og det afkølede geotermiske vand ledes herefter tilbage i undergrunden i injektionsboringen.



Geotermi anlægget blev idriftsat medio 2013. De foreløbige resultater fra de geotermiske borer indikerer, at der sandsynligvis kan indvindes ca. 12 MW varme.

Fra geotermibygningen i Spang pumpes det opvarmede fjernvarmevand via en ca. 4 km lang transmissionsledning til et varmepumpeanlæg i centralen på Vestermark. Her øger varmepumperne temperaturen på vandet til ca. 80 grader, inden det sendes ud til forbrugerne via distributionsnettet i Sønderborg by.

Varmepumperne drives af hedt vand fra flisanlægget, og samlet set vil den geotermiske varme plus drivvarmen fra flis kunne dække, hvad der svarer til ca. 80% af byens nuværende varmebehov, hvis anlægget blev udnyttet fuldt ud. Der skal i den forbindelse dog tages hensyn til, at varme fra affaldsforbrænding altid har første prioritet.

Solparken er centralen i Vollerup med solvarmeanlægget. Der er etableret 8.815 m<sup>2</sup> solfangere, som på årsbasis leverer 7.580 GJ varme. Inde i Solparkens kedelcentral står 2 mindre kedler, der fyrer med CO<sub>2</sub> neutralt bio-olie. De anvendes i vinterperioden, når solfangerne ikke leverer varme. Varmen fra Solparken leveres til Vollerup området og til Høruphav området. I Solparken er der yderligere installeret 60 m<sup>2</sup> solceller, der fremstiller elektricitet af solenergi. I 2012 har solcellerne fremstillet ca. 5.500 kilowatttimer el, der bruges til at trække cirkulationspumperne til solfangerne.

Hele produktionen styres fra et edb-anlæg, der er installeret i Fjernvarmehuset, Nørrekobbel 54.

### 1.3 Fremtidig forsyningsstruktur

I det følgende beskrives forventningerne til udvikling af forsyningen for Sønderborg Fjernvarme med baggrund i forsyningsselskabernes planer og forventninger til udbygning af forsyningsområderne samt til etablering af nye produktionsanlæg.

Geotermianlægget blev indviet i april 2013 og 2014 bliver således anlæggets første fulde driftsår.

Udbredelse af fjernvarme til nye forbrugere fortsætter. Det drejer sig hovedsageligt om Høruphav området, ved havnefronten på Alssiden, i Kær samt de løbende tilslutninger af nye forbrugere i områder, hvor fjernvarme er udlagt.

Sønderborg Kommunes Varmeplan fra december 2009 - og senest opdateret i marts 2012 – indeholder en målsætning om at reducere CO<sub>2</sub> forureningen med mindst 75% indtil 2020 og fuldstændig fjerne CO<sub>2</sub> belastningen af atmosfæren senest i 2029.

Et helt afgørende element i denne målsætning er, at opvarmning med fossile brændsler som olie og naturgas erstattes med fjernvarme, der i så stor udstrækning som muligt fremstilles CO<sub>2</sub> neutralt fra geotermi, solvarme, biobrændsler (flis,

halm og lignende), til dels fra affaldsforbrænding samt evt. fra biogas. Derfor peger Varmeplan Sønderborg på en fjernvarmeledning mellem Sønderborg og Nordborg med tilslutning af flest mulige byområder til dette nye fjernvarmesystem.

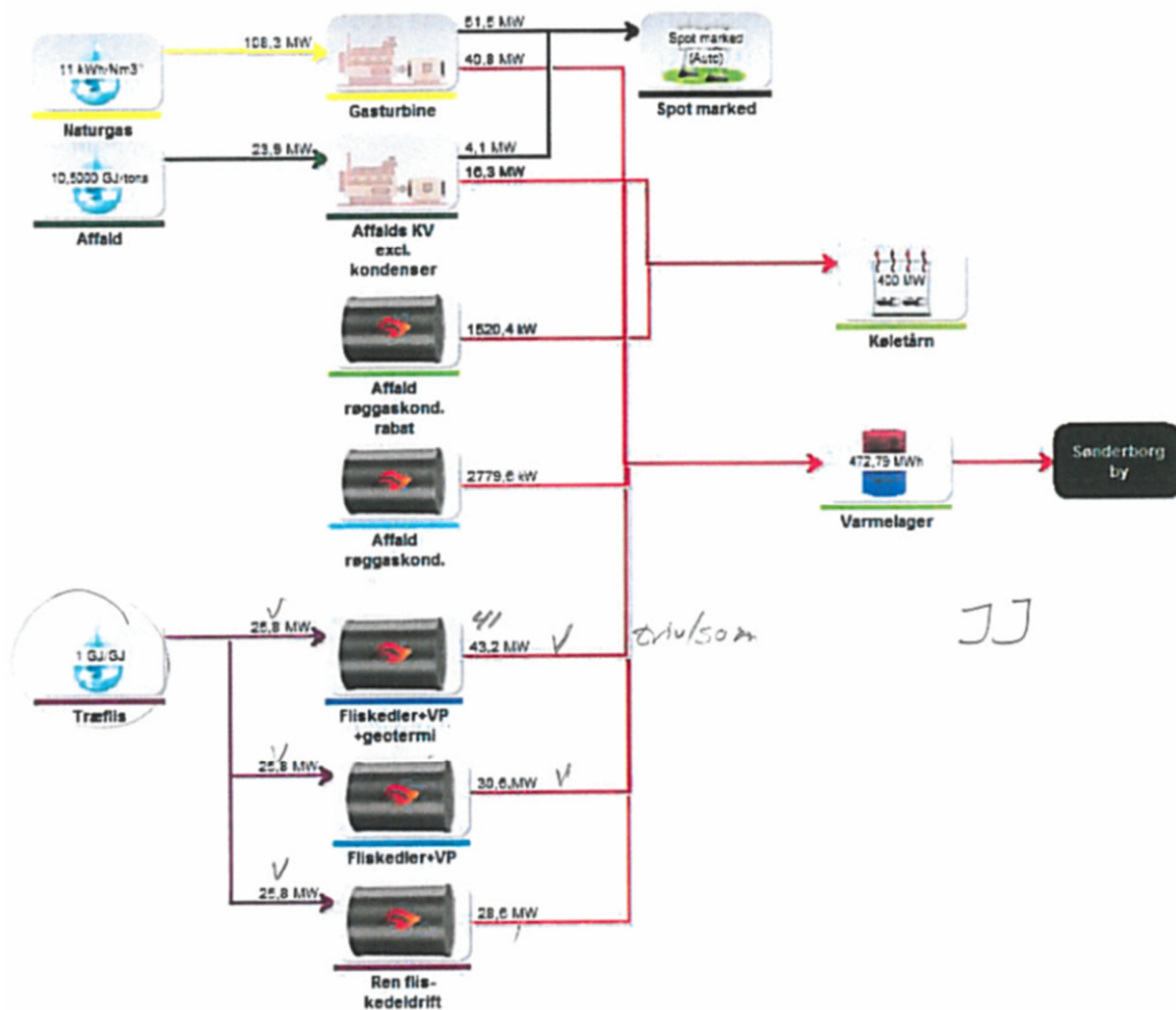


I Nordborg området forudsætter projektet tilslutning af alle, der i forvejen har fjernvarme samt tilslutning af Danfoss og Linak. Projektet er imidlertid i 2013 blevet sat i bero.

Ifølge Varmeplan Sønderborg skal fjernvarme også udbredes og optimeres på jyllandsiden. Det handler både om at forsyne nye områder med fjernvarme og samarbejde med fjernvarmeselskaberne i Gråsten og Broager. Der foreligger endnu ikke konkrete planer omkring denne udvikling.

Fjernvarme i Vollerup- og Hørupområdet har nu så mange forbrugere, at central Solparken skal udbygges med et nyt biomassefyret kedelanlæg, der skal supplere solfangerne. Der er derfor udarbejdet et projektforslag der indebærer, at der etableres et nyt biomassefyret anlæg på 9 - 10 MW med forventet idriftsættelse i 2015. Produktion på solvarmeanlægget forbliver uændret. Eksisterende bioliekedler overgår til spids- og reservelastberedskab.

Den fremtidige fjernvarmeproduktionsstruktur for Sønderborg by er illustreret på nedenstående figur. Figuren illustrerer effekter for forskellige driftstilstande for flis-kedler, varmepumper og geotermiboring.



Det er på møde den 11/12 2013 aftalt med Sønderborg Fjernvarme:

- > at informationerne først kan endeligt fastlægges/godkendes når selskabets budget for 2014 er godkendt.
- > at geotermianalysen tager udgangspunkt i hhv en situation der alene baseres på forsyning af Sønderborg by og en situation hvor det forudsættes, at distributionssystemerne i Sønderborg by og Vollerup/Høruphav/kirke Hørup kobles sammen. Produktionsstrukturen i reference og i alternativ er som beskrevet ovenfor.

I forbindelse med screeningen er det valgt at tage udgangspunkt i en placering af et eventuelt geotermianlæg på adressen Augustenborg Landevej 81, 6400 Sønderborg, dvs. ved de eksisterende borer ved Spang jf. kortet i figur 1.3 .



Projekt: Landsdækkende screening af geotermi i fjernvarmesystemerne

Til: Ea Energianalyse & COWI

Kopi: GEUS

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

Dato: 3. juli 2015

Emne: Beregning af et geotermianlæg ved Sønderborg

## 1 Indledning

Dansk Fjernvarmes Geotermiselskab, COWI og Ea Energianalyse har for Energistyrelsen udført beregninger af de økonomiske og tekniske forhold i et geotermianlæg ved Sønderborg. 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) og data for fjernvarmeforsyningen i Sønderborg leveret af COWI på baggrund af forskellige datakilder, herunder data indhentet hos Sønderborg Fjernvarme.

Anlægsberegningerne tager udgangspunkt i en placering ved det eksisterende geotermiske anlæg på Augustenborg Landevej 81, 6400 Sønderborg.

## 2 De geologiske forudsætninger

Fastlæggelsen af de geologiske forudsætninger bygger på GEUS notat "Sønderborg\_2014\_01\_31.docx". Geologisk set ligger Sønderborg i det Nordtyske Bassin, og der er mere end 3 km tykke sedimenter i området. I regionen er lagene i flere områder påvirket af saltbevægelse og ledsagende forkastningsaktivitet, hvilket gør, at nogle lag varierer meget i dybde, tykkelse og kontinuitet. Det eksisterende geotermiske anlæg producerer fra sandstenslag i Gassum Formationen, og der er anvendt data fra de eksisterende borer som basis for anlægsberegningerne. Grundlæggende er usikkerheden på de geologiske parametre lav, da der er anvendt data fra det eksisterende anlæg. Da der er stor risiko for strukturelle forskelle, øges usikkerheden på de estimerede data, hvis der vælges en ny boreplads. De geologiske data, der indgår i beregningerne, er vist i Tabel 1.

Formation		Gassum
Dybde@midt reservoir	m TVD	1148
Temperatur@midt reservoir	°C	48
Tykkelse af formation	m	95
Tykkelse af potentielt reservoirsand	m	39
Transmissivitet	Dm	137

Tabel 1: Geologiske reservoirdata for et geotermianlæg ved Sønderborg.

### 3 Forudsætninger for fjernvarmesystemet

Forudsætningerne for det respektive fjernvarmesystem er beskrevet i rapporten "Beskrivelse af fjernvarmeområder gruppe 1 og 2, COWI 17. februar 2014". Data fra denne rapport er til brug for beregningerne sammenfattet i Tabel 2.

Varmegrundlag	TJ/år	1101
Eksisterende produktionsanlæg med forret. Antages tilgængelig som drivvarme.	MW	18*
Fremløbstemperatur vinter	°C	83
Returløbstemperatur vinter	°C	45
Fremløbstemperatur sommer	°C	78
Returløbstemperatur sommer	°C	51
Mindste varmeeffekt (sommereffekt)	MW	Standard kurve

Tabel 2: Energiforudsætninger for et geotermianlæg ved Sønderborg.

\* Effekten er ikke oplyst men tilpasset affaldsforbrændingens årlige varmeproduktion (575 TJ/år). Der er ikke taget hensyn til produktion fra det nybyggede geotermianlæg.

### 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. Det forudsættes at varmen fra eksisterende forbrændingsanlæg kan benyttes som drivvarme. På anlægsskitsen 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.

. For Sønderborg er standardberegningen af et potentielt geotermianlæg med absorptionsvarmepumper suppleret med en beregning, hvor det er opdelt på to forskellige lokaliteter. Anlægget opdeles her i to dele, hvor varmevekslere er placeret sammen med borerne, mens absorptionsvarmepumper er placeret på en anden lokalitet sammen med drivvarmeforsyningen.

For Sønderborg er endvidere beregnet et alternativt anlægsdesign, hvor der benyttes el-varmepumper til at udnytte varmen fra geotermivandet.



## 5 Resultater

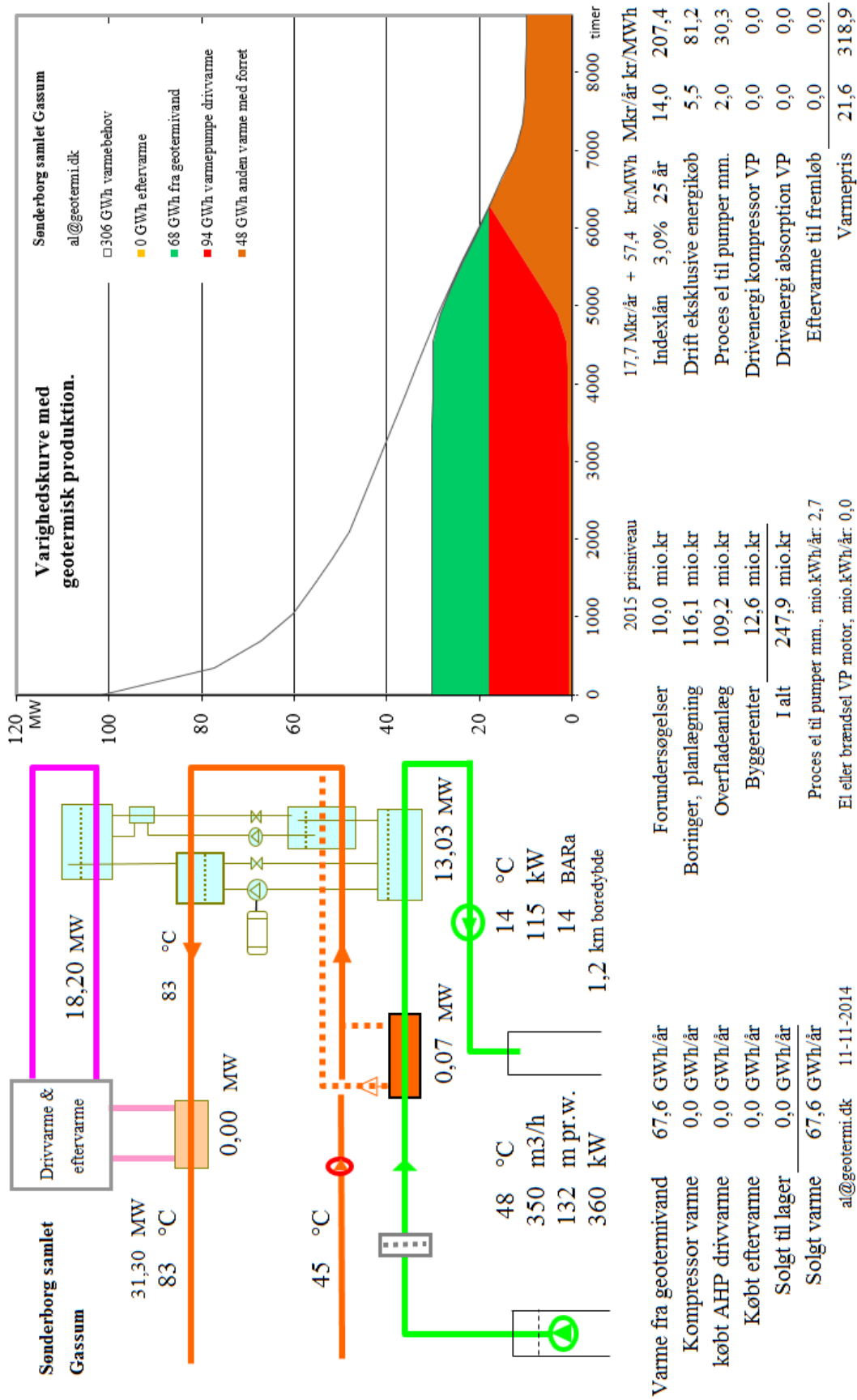
Resultaterne af anlægsberegninger for de tre forskellige anlægskonstellationer er samlet i den følgende Tabel 3 **Fejl! Henvisningskilde ikke fundet.**. Desuden vises resultater for hver geotermiPRO-beregning i en figur indeholdende anlægsskitse med energibalance, varighedskurve med geotermibidrag samt økonomiske nøgletal. Output fra standard beregningen vises i Figur 1. Resultater fra de supplerende anlægsberegninger for et geotermianlæg med absorptionsvarmepumper men opdelt på to lokaliteter ses i Figur 2 og for el-varmepumper i Figur 3.

En anlægsberegning for et anlæg med absorptionsvarmepumper og placeret på én lokalitet, standardberegningen, viser at der med en samlet investering på 250 mio. kr. kan etableres et geotermianlæg med en kapacitet på 13 MW varme fra undergrunden og en total effekt inklusiv driv- og eftervarme på 31 MW.

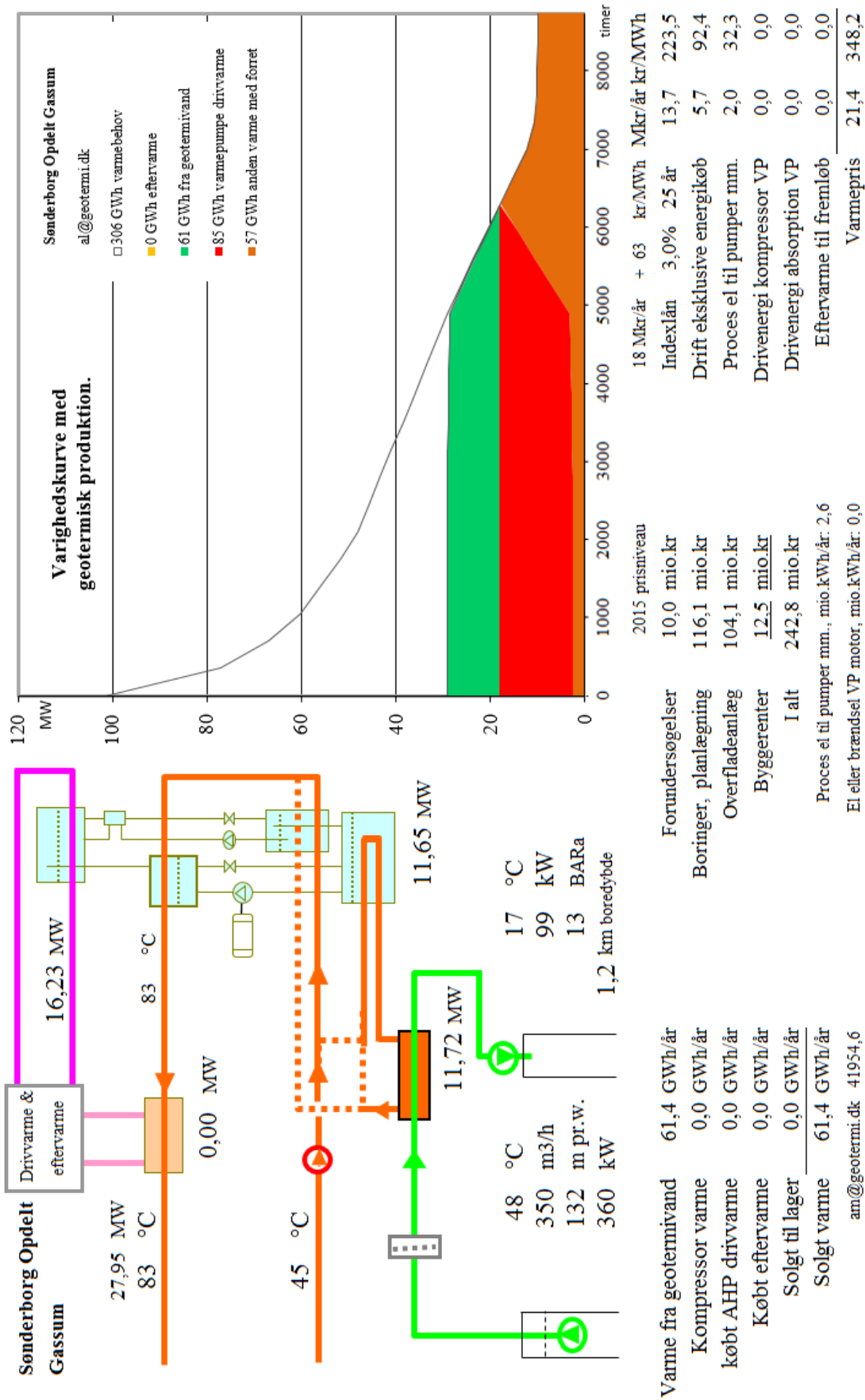
Med de generelle forudsætninger, herunder antagne energipriser og kalkulationsrente, resulterer dette i en årlig varmeproduktion fra undergrunden på 68 GWh/år og en forventet varmepris for geotermivarmen på 319 kr./MWh.

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.

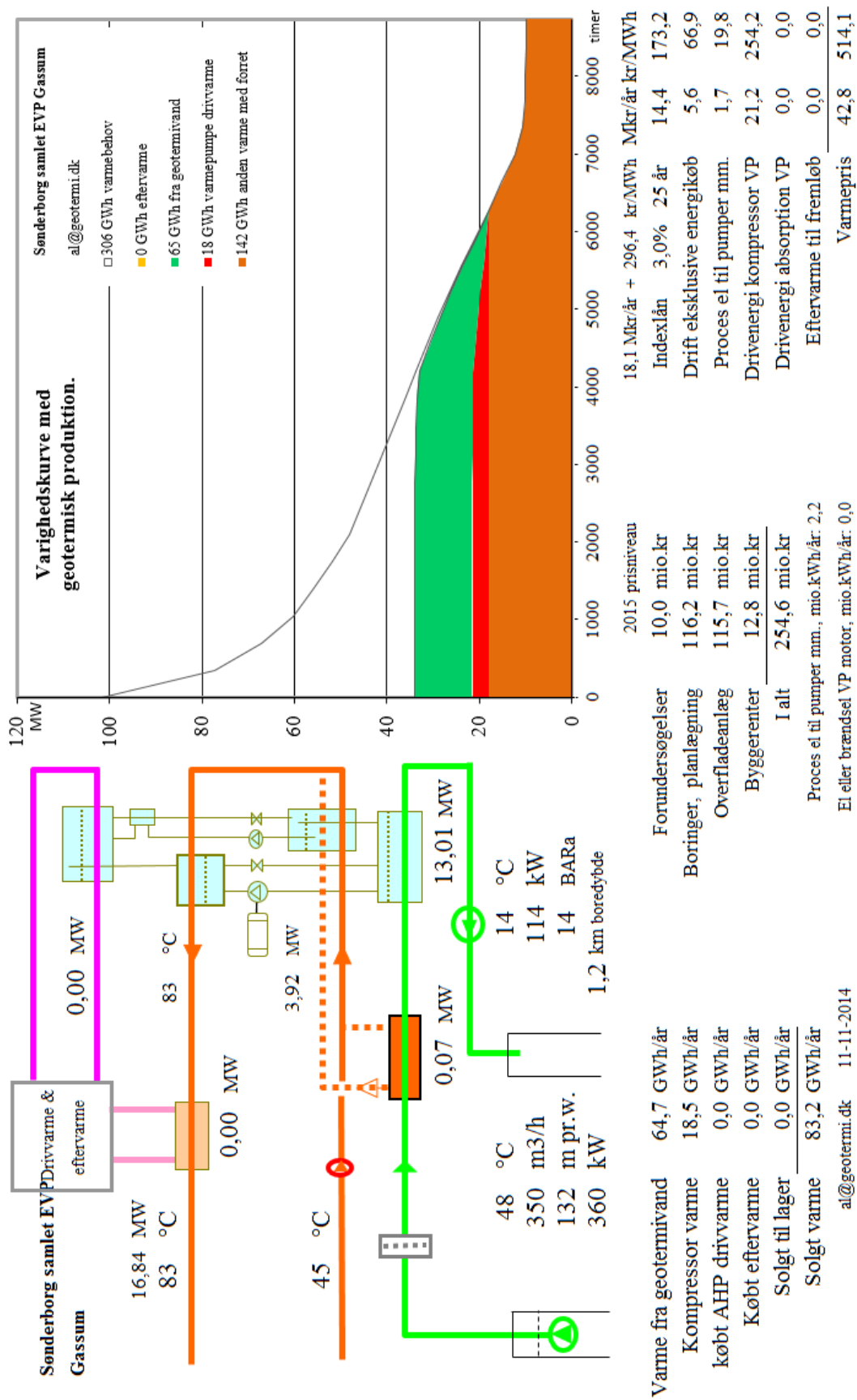
Usikkerheden på anlægsstørrelsen er vurderet til at være lav, da data stammer fra det eksisterende anlæg.



Figur 1: Output fra geotermiPRO, standardberegning.



Figur 2: Output fra geotermiPRO, anlæg med absorptionsvarmepumper og opdelt på to lokaliteter.



Figur 3: Output fra geotermiPRO, anlæg med el-varmepumper.

Beregningsresultater Geotermianlæg ved Sønderborg	Enhed	A) Absorptions varmepumper		B) El- varmepump er	C) Kombination Absorptions og el VP
		Samlet anlæg	Opdelt anlæg	Samlet anlæg	
<b>Anlægs kapacitet (vinter)</b>					
1) Effekt fra geotermivand	MW	13,096	11,721	13,080	13,1
2) Effekt fra drivvarme	MW	18,205	16,226	N/A	
3) Effekt fra eftervarme	MW	0,000	0,000	N/A	
4) Varmeeffekt til fjernvarmevand	MW	31,301	27,946	16,840	
5) Proces el	MW	0,579	0,553	0,493	
6) Varmepumpe el	MW	N/A	N/A	3,917	
<b>Årsenergiomsætning, forholdstal</b>					
7) Varme fra geotermivand	%	100,000	100,000	100,000	
8) Drivvarme	%	139,401	138,919	N/A	
9) Eftervarme	%	0,000	0,000	N/A	
10) Varme til fjernvarmevand	%	239,401	238,919	128,513	
11) Proces el forbrug	%	4,039	4,311	3,401	
12) Varmepumpe el forbrug	%	N/A	N/A	28,513	
<b>Investeringsomkostninger</b>					
13) Samlet investering	mio. kr	235,333	230,255	241,843	306,23
14) Byggerenter	mio. kr	12,610	12,496	12,758	14,25
<b>Driftsomkostninger</b>					
15) Faste D&V omkostninger	mio. kr./år	3,661	3,784	3,709	5,0
16) Variable D&V omkostninger, eksklusiv energiforbrug, per MWh varme produceret fra geotermivand	kr./MWh	27,062	30,788	22,289	

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 Sønderborg. 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.

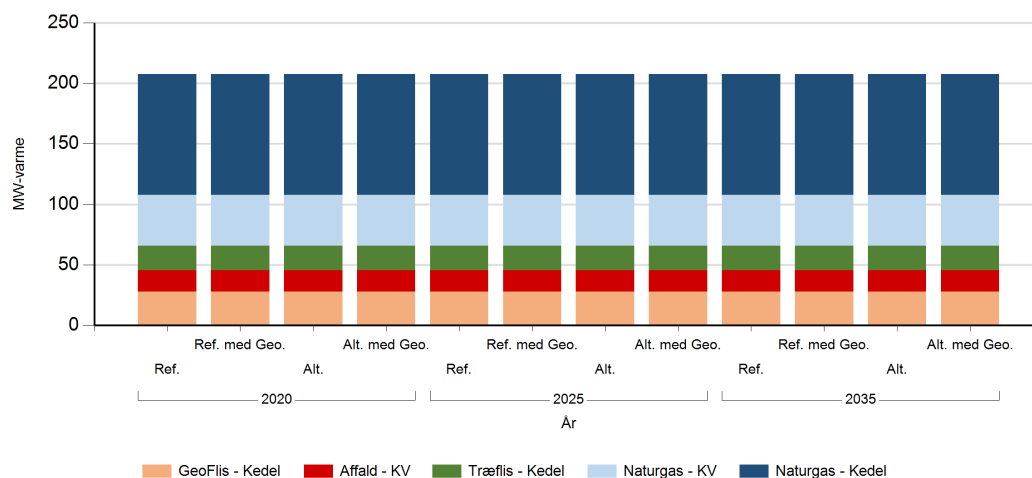
De to scenarier Ref. og Alt. er valgt for at ramme en stagnering og ekspanderende udvikling af grønne teknologiindfasning. I nogle systemet vil man være tættest på det ene og i andre tættest på det andet. De fire scenarier er forklaret i større detalje i hovedrapporten "Landsdækkende screening af geotermi 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 m<sup>2</sup>
- 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 Sønderborg fordelt på brændsler og anlægstyper. For alle fjernvarmeområder er der yderligere indsat tilstrækkelig oliespidslastkapacitet til at dække spidsbehovet.**

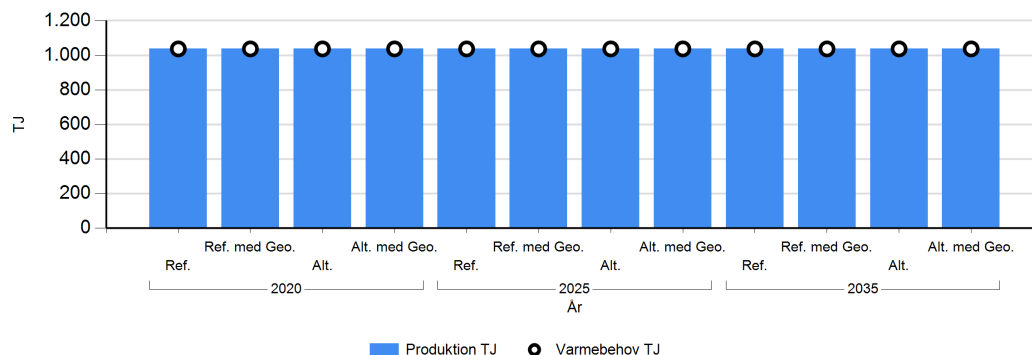
### Fjernvarmeproduktionskapacitet - fordelt på brændsler og anlægstyper

MW Brændsel og Anlægstyper	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.
Naturgas - Kedel	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
Træflis - Kedel	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
Affald - KV	17.8	17.8	17.8	17.8	17.8	17.8	17.8	17.8	17.8	17.8	17.8	17.8
Naturgas - KV	42.0	42.0	42.0	42.0	42.0	42.0	42.0	42.0	42.0	42.0	42.0	42.0
GeoFlis - Kedel	27.9	27.9	27.9	27.9	27.9	27.9	27.9	27.9	27.9	27.9	27.9	27.9

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

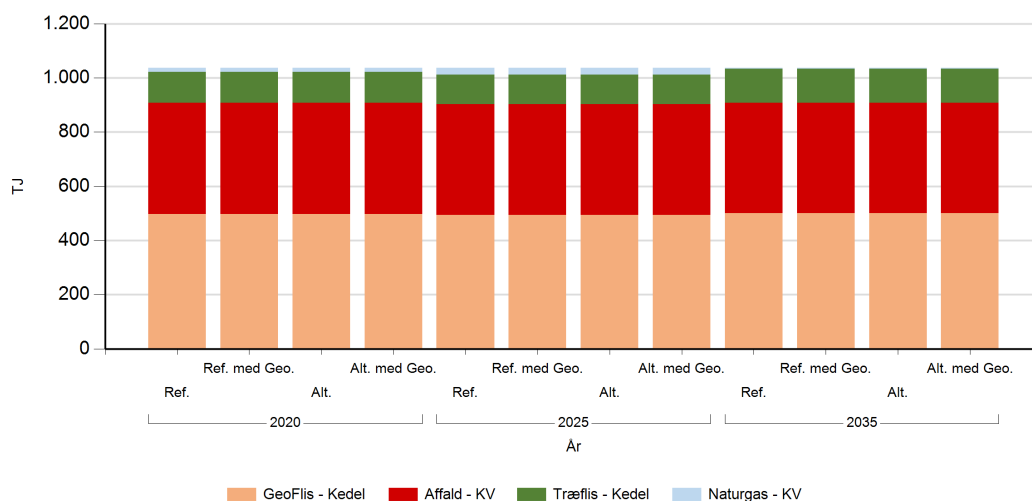
## Fjernvarmeproduktion

### Fjernvarmeproduktion i forhold til fjernvarmebehov



**Figur 2: Fjernvarmeproduktion i forhold til fjernvarmebehov for Sønderborg.**  
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 Sønderborg.**

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	114,7	114,7	114,7	114,7	108,2	108,2	108,2	108,2	125,0	125,0	125,0	125,0
Affald - KV	409,4	409,4	409,4	409,4	409,4	409,4	409,4	409,4	408,0	408,0	408,0	408,0
Naturgas - KV	15,5	15,5	15,5	15,5	25,9	25,9	25,9	25,9	4,0	4,0	4,0	4,0
GeoFlis - Kedel	497,8	497,8	497,8	497,8	493,9	493,9	493,9	493,9	500,3	500,3	500,3	500,3

**Tabel 2: Fjernvarmeproduktion fordelt på brændsler og anlægstyper for Sønderborg.**

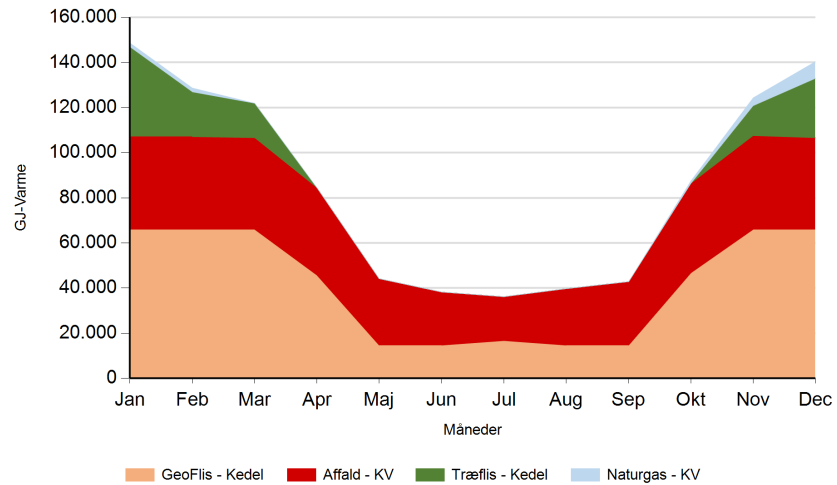
**Fuldstimer for varmeproduktion**

Fuldstimer	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.
Naturgas - KV	103	103	103	103	171	171	171	171	27	27	27	27
GeoFlis - Kedel	4.956	4.956	4.956	4.956	4.917	4.917	4.917	4.917	4.981	4.981	4.981	4.981
Træflis - Kedel	1.592	1.592	1.592	1.592	1.502	1.502	1.502	1.502	1.737	1.737	1.737	1.737
Affald - KV	6.397	6.397	6.397	6.397	6.397	6.397	6.397	6.397	6.374	6.374	6.374	6.374

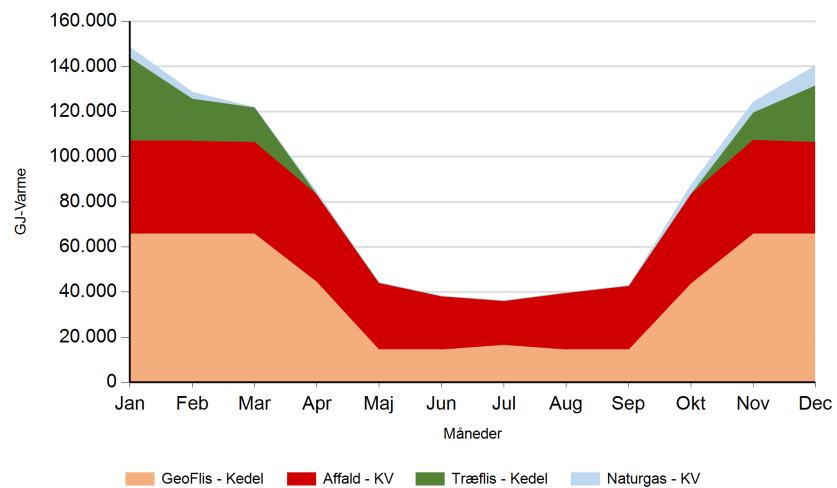
**Tabel 4: Antal af fuldstimer for varmeproduktion i Sønderborg.**

### Månedlig varmeproduktion fordelt på brændsler og anlægstyper for Sønderborg.

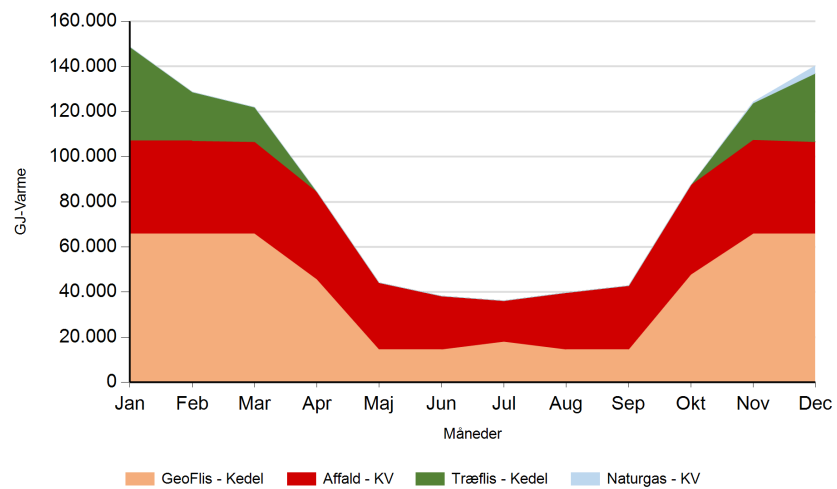
Ref. 2020



2025

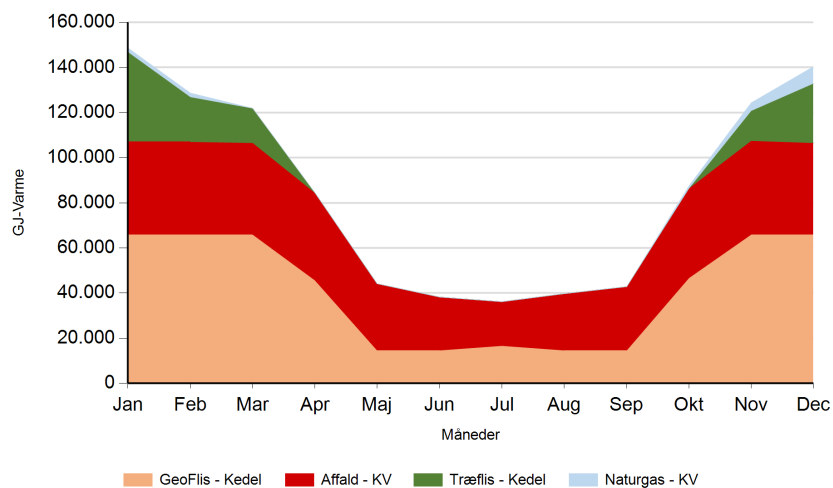


2035

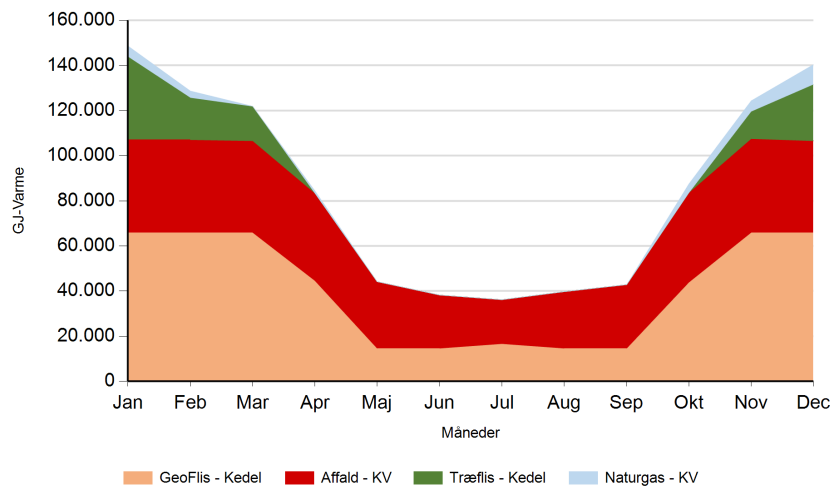




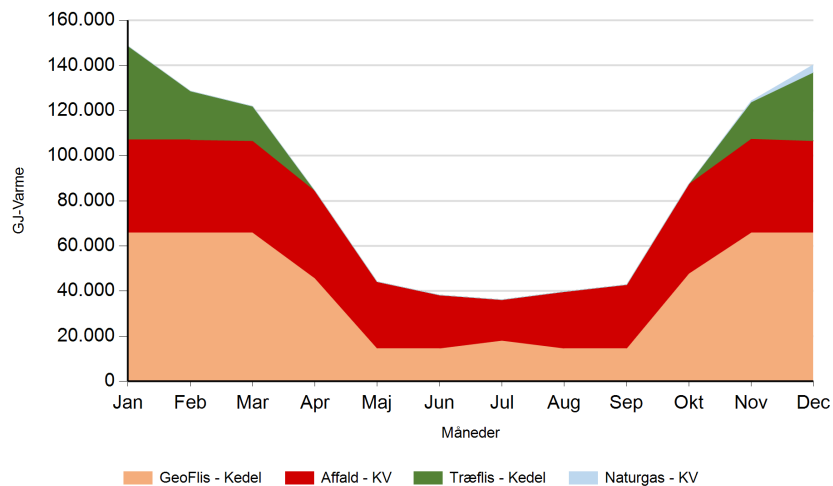
Ref. med Geo. 2020



2025



2035

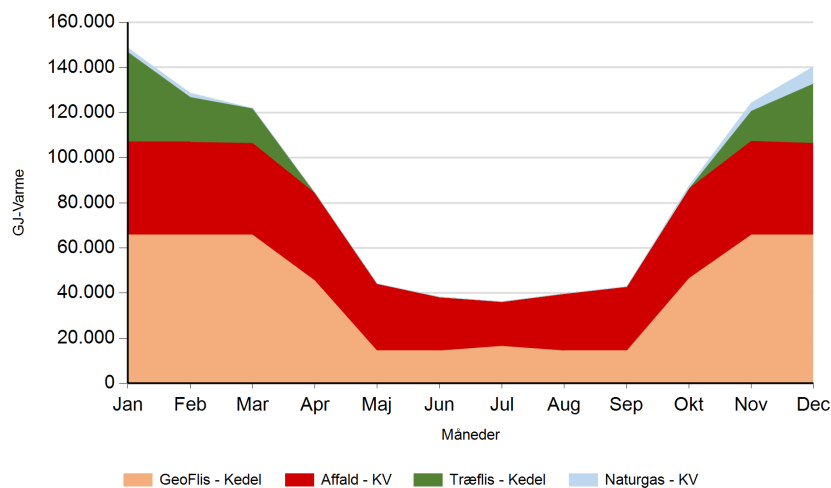




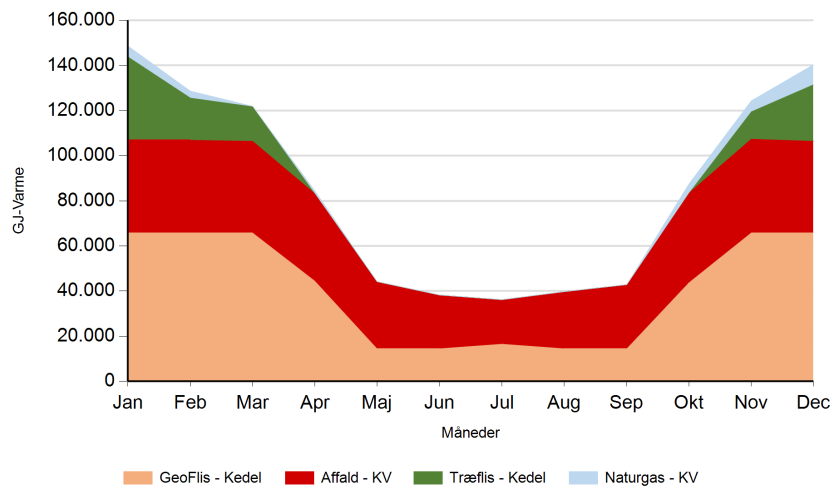


Alt.

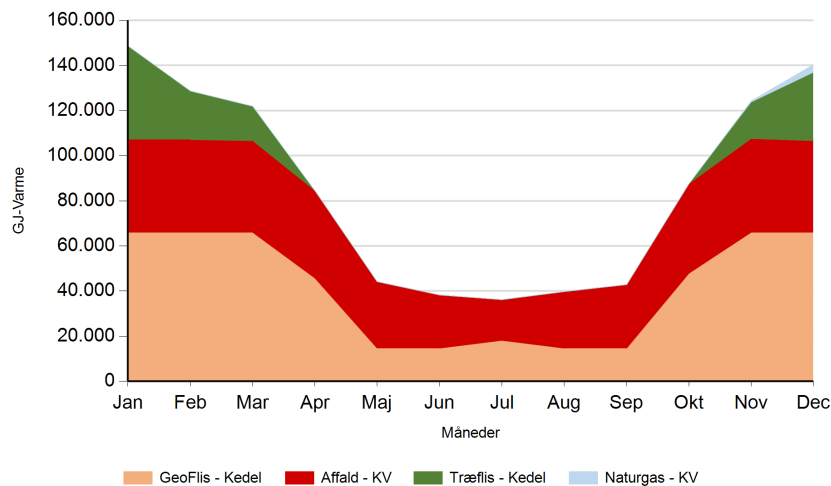
2020

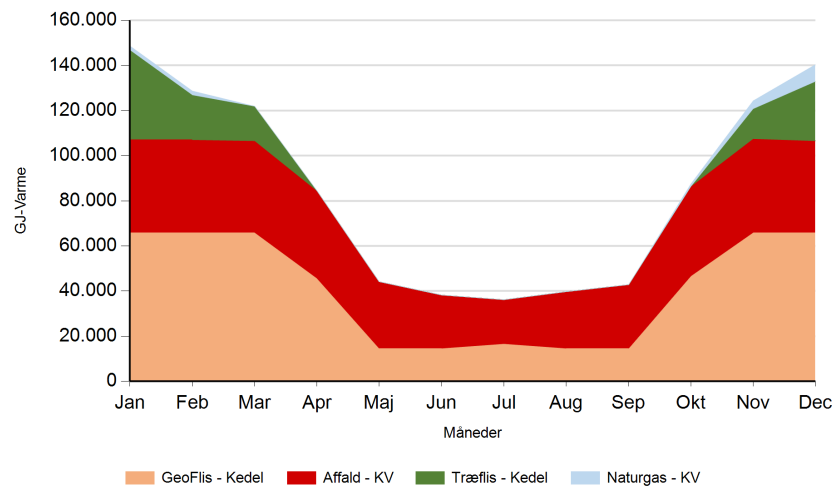
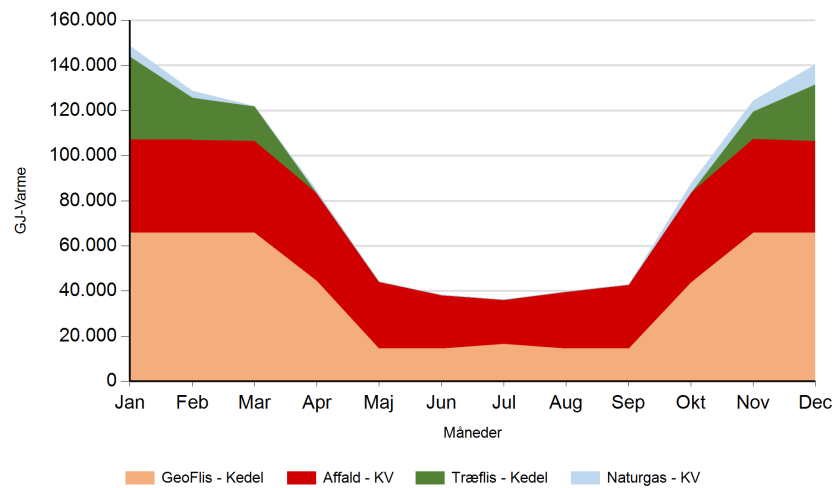
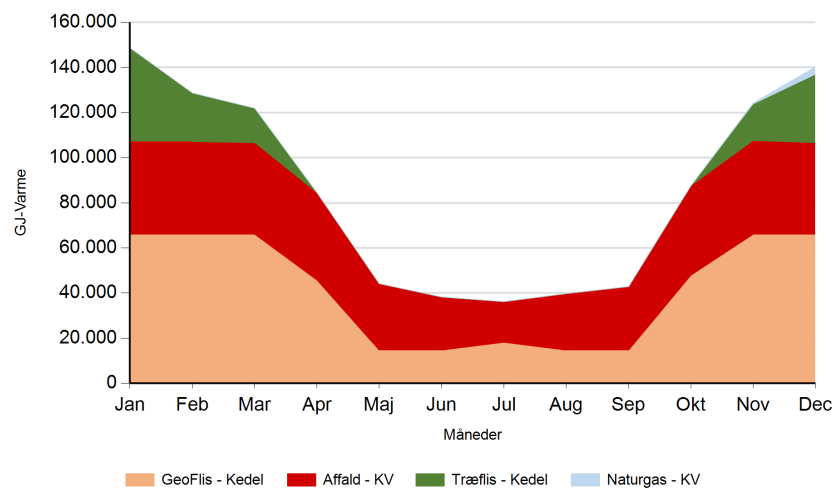


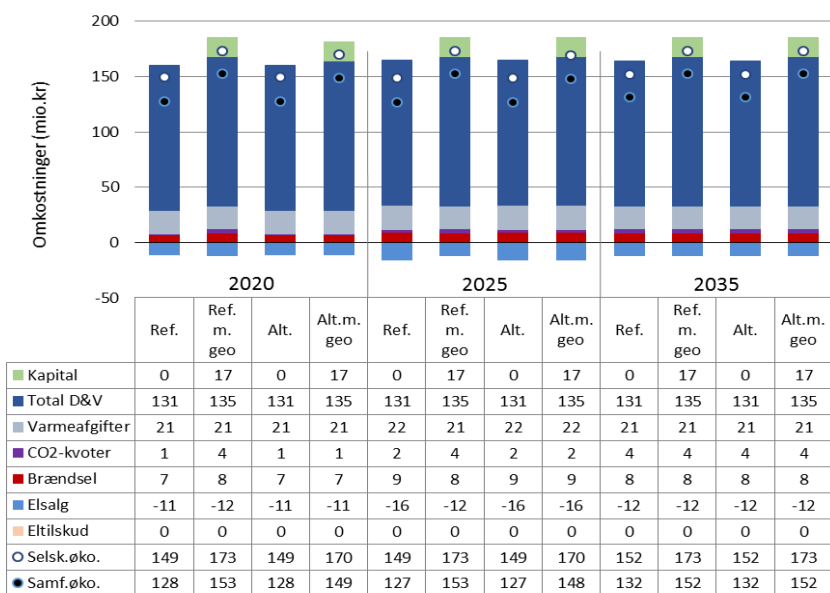
2025



2035



**Alt. med Geo. 2020**

**2025**

**2035**

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



Figur 6: Samlede varmeomkostninger for området Sønderborg



Figur 7: Samlede varmeproduktionsomkostninger for området Sønderborg



# Det geotermiske screeningsprojekt

Sønderborg-lokaliteten

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



## Indhold

<b>1.</b>	<b>Introduktion</b>	<b>3</b>
<b>2.</b>	<b>Geologisk baggrund</b>	<b>6</b>
<b>3.</b>	<b>Resultater for Sønderborg-lokaliteten</b>	<b>9</b>
3.1	Anbefalinger .....	11
<b>4.</b>	<b>Datagrundlag</b>	<b>12</b>
<b>5.</b>	<b>Gennemgang af data</b>	<b>14</b>
5.1	Udbredelse og kontinuitet af formationer og interne reservoirer .....	14
5.1.1	Seismisk tolkning og kortlægning.....	14
5.1.2	Boringsdata .....	16
5.2	Reservoirkvalitet .....	19
5.2.1	Tolkning af lithologi .....	20
5.2.2	Vurdering af tykkelser, lerindhold og porøsitet .....	24
5.2.3	Permeabilitet.....	24
5.2.4	Transmissivitet .....	25
5.3	Temperatur .....	26
5.4	Salinitet.....	28
<b>6.</b>	<b>Referencer</b>	<b>30</b>



# 1. Introduktion

I denne rapport præsenteres relevante geologiske data som grundlag for en vurdering af de dybe geotermiske muligheder ved en lokalitet i Sønderborg-området. Sønderborg fjernvarmeområde udgør ét af 28 fjernvarmeområder, der skal screenes for de geotermiske muligheder ved en udvalgt lokalitet. Screeningen sker for midler afsat i den Enerkipolitiske aftale af 22. marts 2012.

De 28 fjernvarmemarkeder 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 sandstensreservoirer 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 Enerkipolitiske 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. Geotermi WebGIS portalen vil udgøre et godt udgangspunkt, hvis det geotermiske potentiale ønskes vurderet andre steder i Sønderborg-området.

Sønderborg Fjernvarme skiller sig sammen med Thisted og Storkøbenhavns Fjernvarme ud fra de øvrige udvalgte fjernvarmemarkeder ved, at en geotermisk produktion allerede er etableret. Der er derfor ikke taget udgangspunkt i en prognoselokalitet i den geologiske screening af Sønderborg-området, men i data fra de etablerede geotermiboringer. Som en konsekvens heraf er diverse prognosebetragtinger nedtonet i gennemgangen af Sønderborg-området, og de geologiske data, der skal indgå i de økonomiske beregninger, tager i stedet udgangspunkt i de faktiske målte værdier (dybde, temperatur) og estimerede reservoirparametre (porøsitet, permeabilitet, transmissivitet) baseret på analyser af borehulsmålinger fra Sønderborg-1 samt kernemateriale fra andre boringer, da der ikke er udtaget kerner i forbindelse med udførelsen af de to Sønderborg-boringer. Den estimerede transmissivitet sammenlignes endvidere med den transmissivitet, der er fremkommet på baggrund af tolkninger af data fra prøvepumpninger (testdata).

I Sønderborg indvindes vand med en gennemsnitstemperatur på ca. 48 grader fra et ca. 65 meter tykt reservoirinterval i Gassum Formationen (Balling & Bording 2013). Reservoirintervallets top er beliggende ca. 1100 meter under havniveau i Sønderborg-1 (injektionsbrønden) og ca. 1150 meter under havniveau i Sønderborg-2 (produktionsbrønden). Det geotermiske anlæg blev

taget i brug i 2013 og er beliggende nordøst for Sønderborg ud mod Augustenborg Fjord (Figur 1).

Gennemgangen af Sønderborg-lokaliteten er opbygget således, at der i afsnit 2 gøres rede for regionale geologiske forhold og undergrundens opbygning. Geologiske nøgledata, der danner grundlag for en vurdering af det geotermiske potentiale ved Sønderborg-lokaliteten og som udgør et input til 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. 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 det geotermiske anlæg (rød cirkel) nordøst for Sønderborg ud mod Augustenborg Fjord.

## 2. Geologisk baggrund

Sønderborg-området er beliggende syd for Ringkøbing–Fyn Højderyggen i det Nordtyske Bassin, som blev dannet ved strækning af skorpen i Tidlig Perm tid. Ringkøbing–Fyn Højderyggen adskiller mod nord bassinet fra det Danske Bassin (Figur 2). Ringkøbing–Fyn Højderyggen er en del af et regionalt VNV–ØSØ-gående strøg af højtliggende grundfjeldsområder i undergrunden, der gennemskæres af nord–syd orienterede riftstrukturer og mindre trug.

Efter en indledende aflejring af Rotliegend grovkornede klastiske sedimenter i det Nordtyske Bassin og det Danske 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 Mellem Jura førte til en betydelig erosion af underliggende sedimenter, specielt op mod flankerne af og over det højtliggende grundfjeld i Ringkøbing–Fyn Højderyggen. Denne, og senere erosionshændelser, er repræsenteret ved en markant erosionsflade, der overlejres af en Nedre Kridt lagserie bestående af muddersten og siltsten samt enkelte sandstenslag. Herefter følger en tyk serie af karbonat- og kalkaflejringer, 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 opad langs svaghedszoner. Dette resulterede nogle steder i, at de overliggende lag blev løftet op (på saltpuder) eller 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 Nordtyske Bassin.

I Sønderborg-området er Øvre Perm – Kvartær lagserien omkring 2,5–3,0 km tyk (Vejbæk & Britze 1994). Potentielle geotermiske sandstensreservoirs i den sydlige del af Danmark vurderes primært at være til stede i den Nedre Triassiske Bunter Sandsten Formation og i den Øvre Triassiske – Nedre Jurassiske Gassum Formation (Mathiesen et al. 2013). Dette er baseret på, at formationerne vides at kunne indeholde geotermiske sandstensreservoirs, 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.

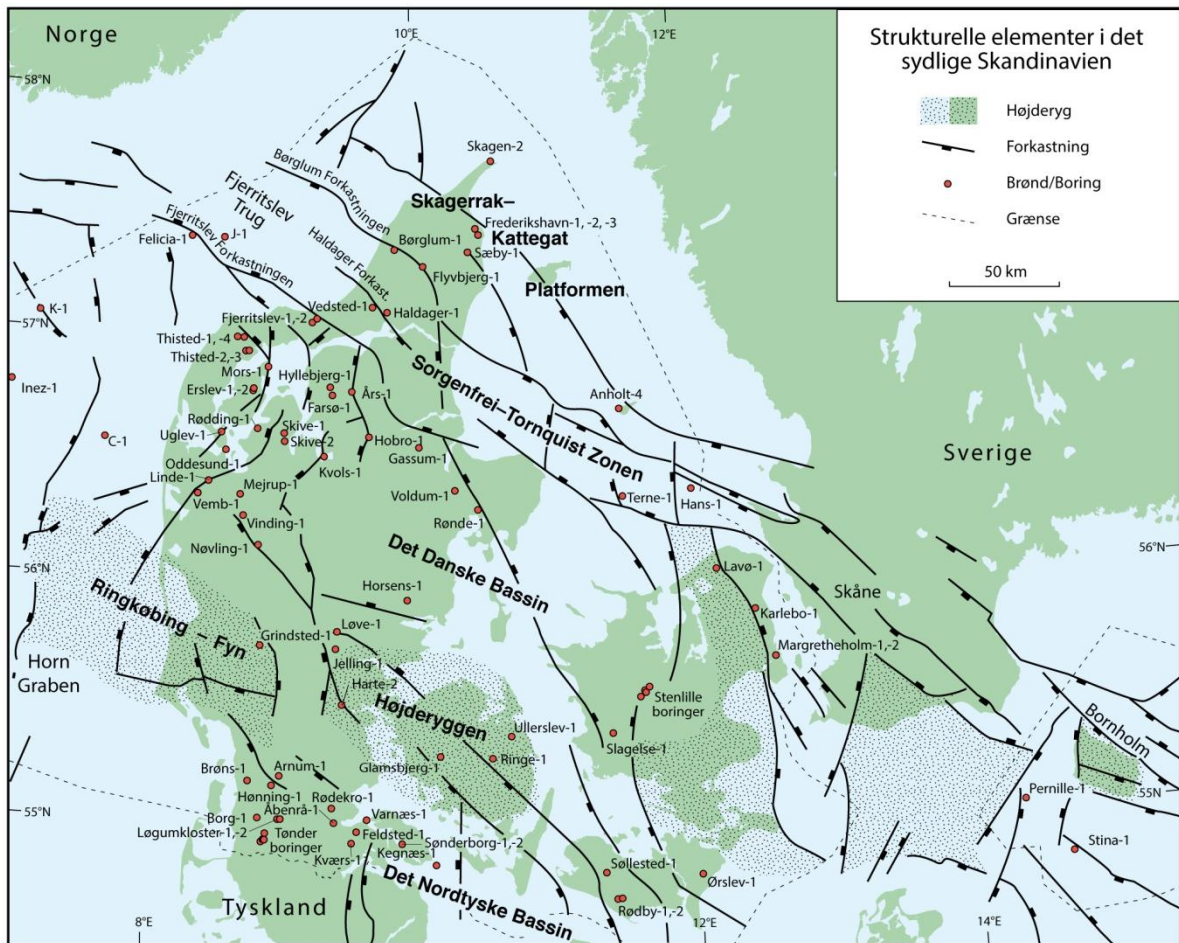
Både Bunter Sandsten og Gassum formationerne var et mål for geotermisk indvinding i Sønderborg-området, men den første geotermiske boring, Sønderborg-1, viste, at kun Gassum Formationen er til stede i boreområdet. Nærværende gennemgang af det geotermiske potentiale ved

Sønderborg-lokaliteten er derfor rettet mod tilvejebringelsen af geologiske data om Gassum Formationen.

Gassum Formationen udgør det bedst kendte sandstensreservoir i Danmark og udnyttes foruden i Sønderborg også til geotermisk indvinding i Thisted samt til gaslagring ved Stenlille. Formationen er vidt udbredt i det Danske Bassin og til dels også i den danske del af det Nordtyske Bassin med en generel tykkelse på 30–150 meter og med tykkelser på op til mere end 300 meter i Sorgenfrei–Tornquist Zonen (Nielsen 2003). Derimod synes formationen generelt ikke at være til stede henover Ringkøbing–Fyn Højderyggen. I det Nordtyske Bassin aftager formationen i tykkelse nordpå og mangler helt op mod flanken af Ringkøbing–Fyn Højderyggen, hvilket må tilskrives den regionale hævnning og erosion i Mellem Jura, som var særligt udpræget hen over højderyggen og langs flankerne af denne. Endvidere kan formationen stedvis mangle på grund af lokal hævnning og erosion relateret til saltbevægelse i undergrunden (eksempelvis i Tønder-området).

Gassum Formationen domineres af fin- til mellemkornede, stedvis grovkornede, lysegrå sandsten, der veksler med mørkere farvede lersten og siltsten og lokalt tynde kullag (Bertelsen 1978, Michelsen & Bertelsen 1979, Michelsen et al. 2003). Sedimenterne afspejler afsætning under gentagne havniveausvingninger i den sidste del af Trias Perioden og i starten af Jura Perioden (Nielsen 2003). I dette tidsrum var hovedparten af det danske indsynkningsområde dækket af et lavvandet havområde, hvortil floder transportererede store mængder af sand eroderet fra det Skandinaviske grundfjeldsområde og i mindre grad også fra Ringkøbing–Fyn Højderyggen i perioder, hvor denne var blotlagt. Noget af sandet blev afsat i flodkanaler og estuarier, men det meste blev aflejret i havet som kystsand. Herved blev der dannet forholdsvis sammenhængende sandstenslegemer med stor geografisk udbredelse. Senere forkastningsaktivitet har i nogle områder dog ændret på dette, ligesom senere kompaktion og mineraludfældninger (diagenese) har modificeret reservoiregenskaberne.





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

### 3. Resultater for Sønderborg-lokaliteten

De geologiske data for Gassum Formationen ved Sønderborg-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.

De geologiske data vurderes til at være positive eller rimelige, med hensyn til om reservoirintervallet i Gassum Formationen ved Sønderborg-lokaliteten egner sig til en geotermisk produktion. Dette er naturligvis ikke overraskende, da reservoirdata stammer fra de borer, der knytter sig til det geotermianlæg, der er sat i drift i 2013. Området er præget af saltstrukturer og forkastninger, men dette blev der taget højde for på baggrund af ny seismik, da placeringen af Sønderborg-1 og -2 borerne blev valgt. De nye seismiske data af god kvalitet viste således, at den oprindelige tænkte placering måtte opgives på grund af markante forkastninger. På baggrund af de nye data blev et nyt område valgt.

Reservoirintervallet i Gassum Formationen blev i Sønderborg-2 brønden prøvepumpet; det præcise testinterval fremgår dog ikke i "Final Well Report - Sønderborg-2" (DONG Energy 2010b). Den efterfølgende tolkning af brøndtesten ledte til en transmissivitet på 129 Darcy-meter. Dette er i overensstemmelse med en transmissivitet estimeret til 136 Darcy-meter på baggrund af tolkning af petrofysiske logs. Transmissiviteten på de 136 Darcy-meter er beregnet for Gassum Formationen i Sønderborg-1 boringen 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 %). Reservoirtransmissiviteten er et udtryk for reservoirsandets geotermiske ydeevne, beregnet ved at gange tykkelsen af Potentielt reservoirsand med reservoirsandstens gennemsnitspermeabilitet efterfulgt af en erfaringsbaseret opskalering. I geotermisk sammenhæng bør reservoirtransmissiviteten være større end 10 Darcy-meter (Mathiesen et al. 2013\*), og dette er således til fulde opfyldt for Sønderborg-lokaliteten. Temperaturen er estimeret til 48 grader i midten af reservoiret i produktionsbrønden (Sønderborg-2) - i høj grad baseret på detaljerede måleserier af temperaturen i reservoiret i injektionsbrønden.

Med hensyn til dæklag, der erfaringsmæssigt kan være nødvendige at fokusere på i boreprocessen, er Fjerritslev Formationen ca. 250 meter tyk med toppen beliggende ca. 840 meter under havniveau (m.u.h.). Kridt og Danien lagseriens kalkaflejringer er ca. 520 meter tykke og beliggende ca. 300–820 m.u.h. (DONG Energy 2010a, 2010b).

\*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 Sønderborg-lokaliteten, og som vil udgøre et input til økonomiske beregninger mm.

<b>Sønderborg-lokaliteten</b>			
UTMz32 X: 111.222 m; Y: 3.444.555 m Terrænkote: 1,5 meter over havniveau (m.o.h.)			
<b>Gassum Formationen</b>	<b>Estimeret værdi</b>	<b>Vurderet usikkerhed <sup>1</sup></b>	<b>Usikkerhedsinterval<sup>2</sup></b>
			[MinCase - MaxCase]
<b>Makro reservoirparametre</b>			
Dybde til top af formation [m.u.h.]	1100	1 <sup>3</sup>	1089–1111 <sup>3</sup>
Tykkelse af formation [m]	95	1 <sup>3</sup>	94–96 <sup>3</sup>
<b>Andel af sandsten i formationen</b>			
Tykkelse af Gross sand [m]	40	5 <sup>3</sup>	38–42 <sup>3</sup>
Tykkelse af Potentielt reservoirsand <sup>4</sup> [m]	39	5 <sup>3</sup>	37–41 <sup>3</sup>
Potentielt reservoirsand/formation <sup>5</sup>	0,41	5 <sup>3</sup>	0,39–0,43 <sup>3</sup>
Potentielt reservoirsand/Gross sand <sup>6</sup>	0,98	5 <sup>3</sup>	0,93–1,00 <sup>3</sup>
<b>Vandledende egenskaber (reservoirsand)</b>			
Porøsitet [%]	28	5 <sup>3</sup>	27–29 <sup>3</sup>
Gas-permeabilitet [mD]	2800	2,5 <sup>7</sup>	1120–7000 <sup>7</sup>
Reservoir-permeabilitet <sup>8</sup> [mD]	3500	2,5 <sup>7</sup>	1400–8750 <sup>7</sup>
Reservoir-transmissivitet (Kh) <sup>9</sup> [Dm]	137	2,5 <sup>7</sup>	55–343 <sup>7</sup>
<b>Temperatur</b>			
Temperatur <sup>10</sup> [°C]	48	1 <sup>3</sup>	48–49 <sup>3</sup>
<b>Tekstur og cementering (sandsten)</b>		<b>Vurdering</b>	
Kornstørrelse/sortering/afrundingsgrad	Hovedsageligt meget fin til medium kornstørrelse; moderat til velsorteret; kantede til subafrundede korn		
Diagenese/cementering	Ingen eller lidt cementering		
<b>Andre betydende parametre</b>		<b>Vurdering</b>	
Salinitet	Den samlede saltholdighed (TDS: Total Dissolved Solid) er målt til 157 g/l. Kloridkoncentrationen er under mætningspunktet for NaCl.		
Sedimentologisk kontinuitet	Stor		
Strukturel kontinuitet	Området er præget af forkastninger og salttektonik		

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

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

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

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

<sup>5</sup> Tykkelse af Potentielt reservoirsand divideret med Tykkelse af formation.

<sup>6</sup> Tykkelse af Potentielt reservoirsand divideret med Tykkelse af Gross sand.

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

<sup>8</sup> 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.

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

<sup>10</sup> Temperatur er den estimerede temperatur i midten af reservoiret i produktionsbrønden baseret på den målte gennemsnitstemperatur i reservoiret i injektionsbrønden (Balling & Bording 2013).



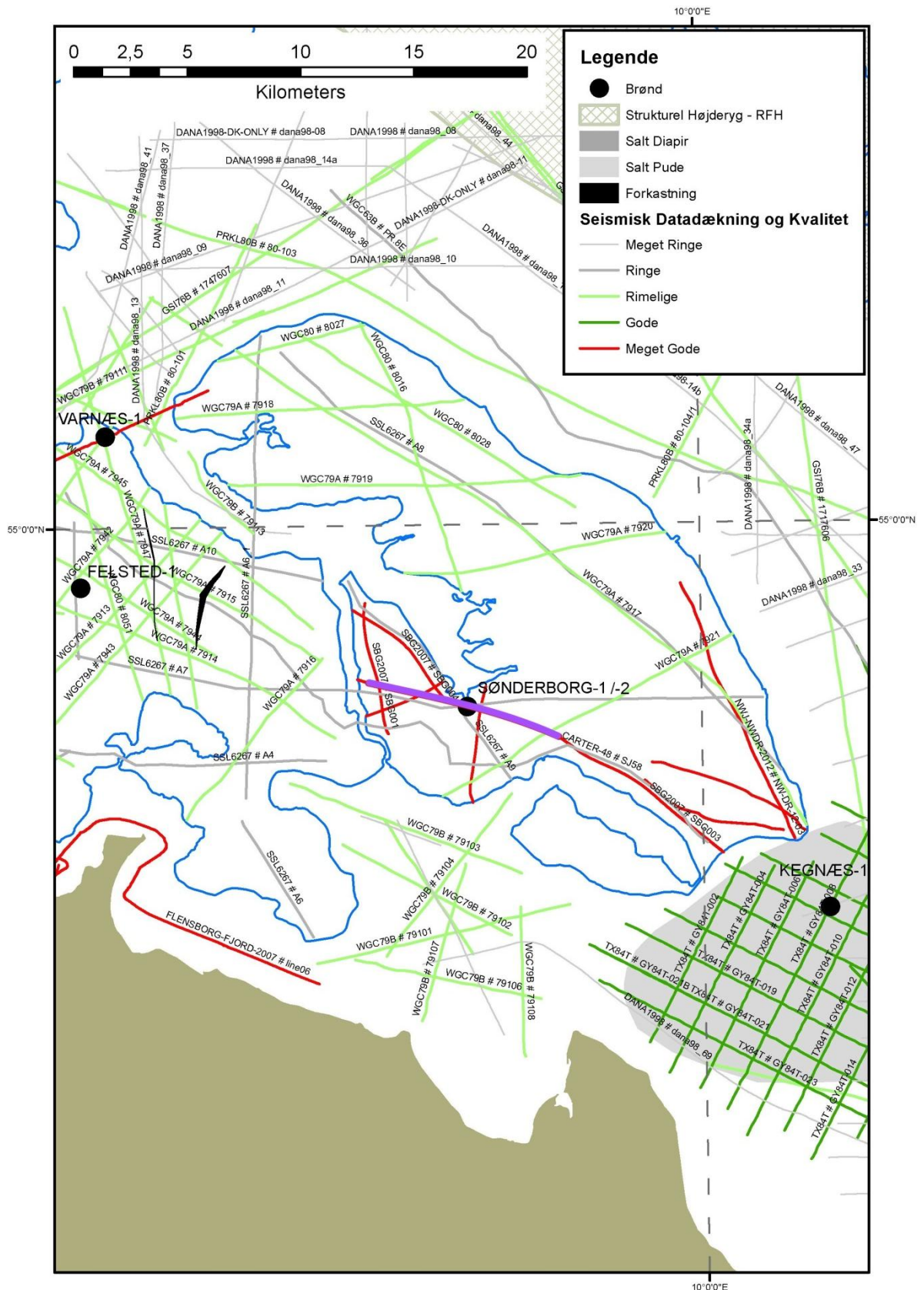
### **3.1 anbefalinger**

Der er ingen anbefalinger til supplerende undersøgelser for at belyse det geotermiske potentiale i Sønderborg, da det geotermiske anlæg allerede er etableret. Skulle anlægget på sigt ønskes suppleret med endnu en produktions- eller injektionsboring, vil det kunne være relevant at indsamle og analysere supplerende seismiske data i nærområdet suppleret med en tolkning af aflejningsmiljøet for Gassum Formationen baseret på en detaljeret analyse af logmønstret i Sønderborg-1, Sønderborg-2 og Kegnæs-1 borerne. Dette vil belyse Gassum Formationens udbredelse og reservoirsandstens geometri og dermed udgøre grundlaget for at bestemme den bedst mulige placering af en supplerende boring.

## 4. Datagrundlag

I Figur 3 er den eksisterende database i Sønderborg-området og i regionen vist i form af placeringen af boringer samt placering og kvalitet af seismiske linjer. Endvidere er forløbet af de overordnede forkastninger vist i figuren. Bemærk placeringen af "prognoselokaliteten" (markeret ved Sønderborg-1/-2 brøndene) og afstanden til de nærmeste brønde samt Ringkøbing-Fyn Højderyggen (RFH) nord for Sønderborg-området. De nærmeste boringer, ud over Sønderborg-1 og -2, er Kegnæs-1 ca. 18 km mod sydøst, Felsted-1 ca. 18 km mod vestnordvest, Varnæs-1 ca. 20 km mod nordvest og Kværs-1 ca. 23 km mod vest. Felsted-1 boringen er p.t. fortrolig og er derfor ikke en del af den benyttede database. Gassum Formationen er til stede i Sønderborg-1 og Sønderborg-2, Kegnæs-1 og Kværs-1 brøndene, men findes ikke i de øvrige brønde (Åbenrå-1 og Rødekro-1), hvor stratigrafisk dybereliggende lag er anboret.

Kvaliteten af de seismiske linjer, der er indsamlet i regionen, er markeret med farver i Figur 3 og 4. Farverne 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. Linjerne af meget god kvalitet i nærheden af Sønderborglokaliteten blev indsamlet til at evaluere de geotermiske muligheder i området og til at placere Sønderborg-1 og -2 boringerne hensigtsmæssigt.



Figur 3: Placering af brønde samt placering og kvalitet af seismiske linjer i regionen samt forløbet af overordnede forkastninger. "Prognoselokaliteten" er givet ved placeringen af Sønderborg-1/-2. Den del af den seismiske linje SBG003, som er fremhævet med fed lilla streg, er anvendt til at fremstille et seismisk profil med tolkede seismiske horisonter i Figur 5.

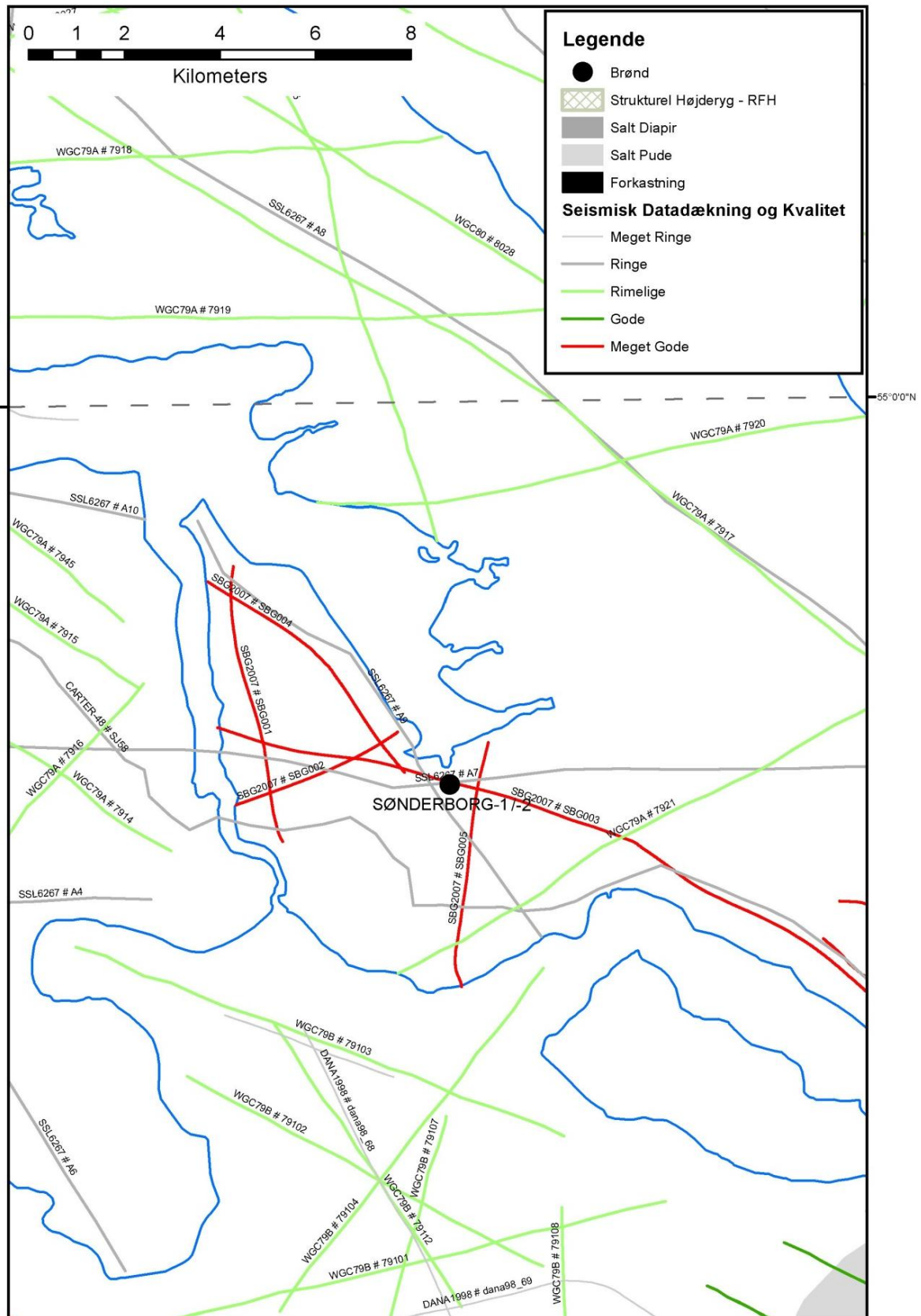
## **5. Gennemgang af data**

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**

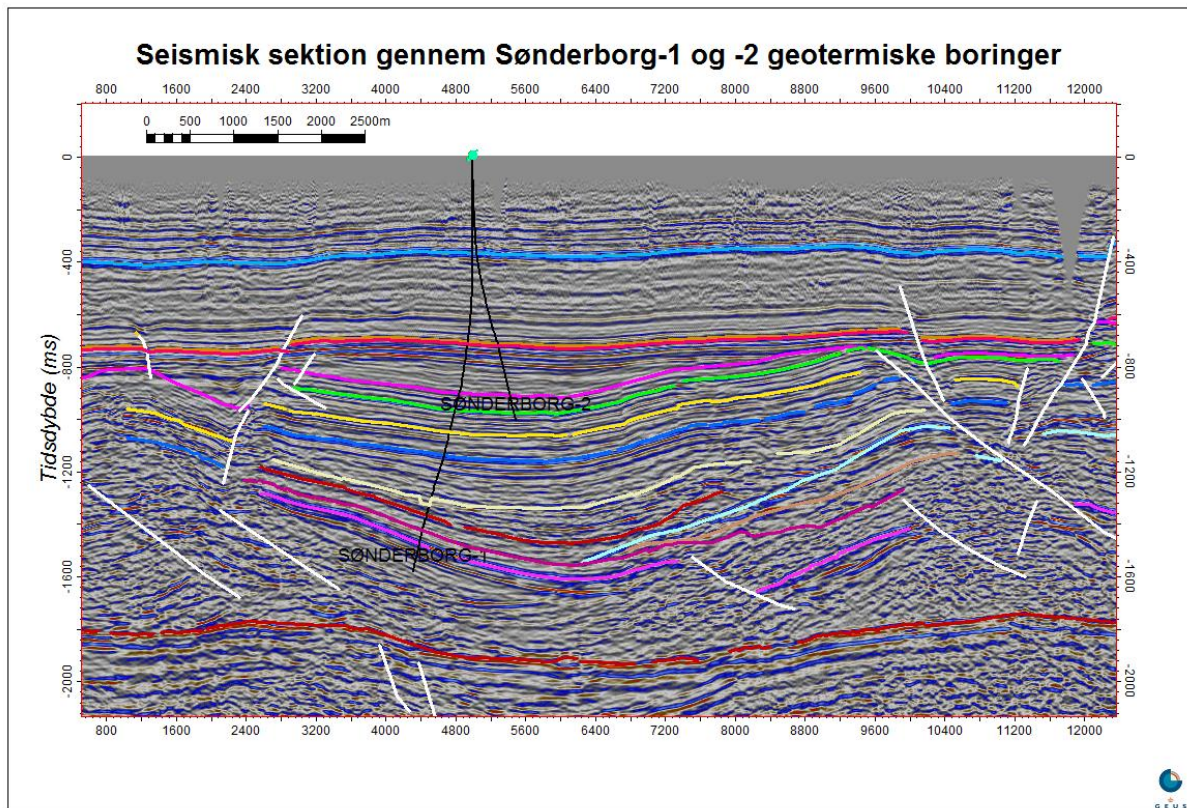
#### **5.1.1 Seismisk tolkning og kortlægning**

Den seismiske linje SBG003 (Figur 3 og 4) er anvendt til at fremstille et vestnordvest–østsydøst orienteret seismisk profil, der er vist med tolkede seismiske horisonter i Figur 5. Det fremgår af figuren, at Gassum Formationen i området ved ”prognoselokaliteten” er tykt udviklet i rand-sænknningen mellem 2 markante saltpuder over hvis toppe, der forekommer mange forkastninger i lagserien.



Figur 4: Indsamlede seismiske linjer omkring "prognoselokaliteten". En del af den seismiske linje SBG003 (markeret på Figur 3) er anvendt til at fremstille et seismisk profil med tolkede seismiske horisonter i Figur 5.





Figur 5: Seismisk profil gennem Sønderborg-1 og -2 baseret på den seismiske linje SBG003 (Figur 3 og 4). Gassum Formationen er tykt udviklet i randsækningen mellem 2 markante saltpuder over hvis toppe, der forekommer mange forcastninger i lagserien (forcastninger er angivet som stejle hvide streger). Dybde er angivet som seismisk to-vejs-tid i millisekunder. Oppefra og ned er følgende tolkede horisonter vist på figuren: Top kalken (blå), Basis af Kalkgruppen (brun – delvis sammenfaldende med den underliggende røde linje), Basis Nedre Kridt/Top Fjerritslev Fm (rød), Top Gassum (lyserød), Top Vinding Fm (lysegrøn), Top Oddesund Fm (gul), Top Tønder Fm (blå), Top Falster Fm (lysegul), Top Ørslev Fm (rødbrun), mulig Top Bunter Sandsten (lyseblå), mulig Basis Bunter Sandsten (brun), Top Zechstein (lyserød) og Top pre-Zechstein (rødbrun).

### 5.1.2 Boringsdata

I de geotermiske boringer i Sønderborg er Gassum Formationen ca. 95 meter tyk, og det interne reservoirinterval, hvorfra det varme vand hentes, er ca. 65 meter tykt (Figur 6). De 2 geotermiboringer har gennemboret Gassum Formationen i en afstand af omkring 1 km, og det fremgår af Figur 6, at reservoirintervallet over denne afstand er ensartet, bestående af 2 sandstensenheder adskilt af et interval domineret af ler. Reservoirintervallet kan korreleres til Kegnæs-1 boringen, der er en offshore boring placeret ca. 18 km sydøst for Sønderborg-boringerne. I Kegnes-1 boringen er reservoirintervallet ligeledes ca. 65 meter tykt. I Kværs-1 boringen er Gassum Formationen repræsenteret ved en 18 meter tyk sandstensenhed, der sandsynligvis svarer til den nederste sandstenspakke i reservoirintervallet, mens senere erosion har fjernet den overliggende del af Gassum Formationen (Figur 6). Kværs-1 brønden er placeret ca. 23 km vest for Sønderborg-

brøndene. Længere mod vest synes Gassum Formationen kun stedvis at være til stede, blandt andet dokumenteret ved, at den er til stede i Tønder-2 brønden med en tykkelse på 33 meter, hvorimod den ikke er til stede i de øvrige dybe Tønder-brønde. I de øvrige tættestliggende boringer, Varnæs-1, Åbenrå-1 og Rødekro-1, er Gassum Formationen ligeledes bortroderet som følge af regional hævning og erosion i Mellem Jura. Tilstedeværelsen af Gassum Formationen synes derfor at være fragmentarisk mod vest, og nordpå mod Ringkøbing-Fyn Højderyggen, er formationen eroderet helt væk.

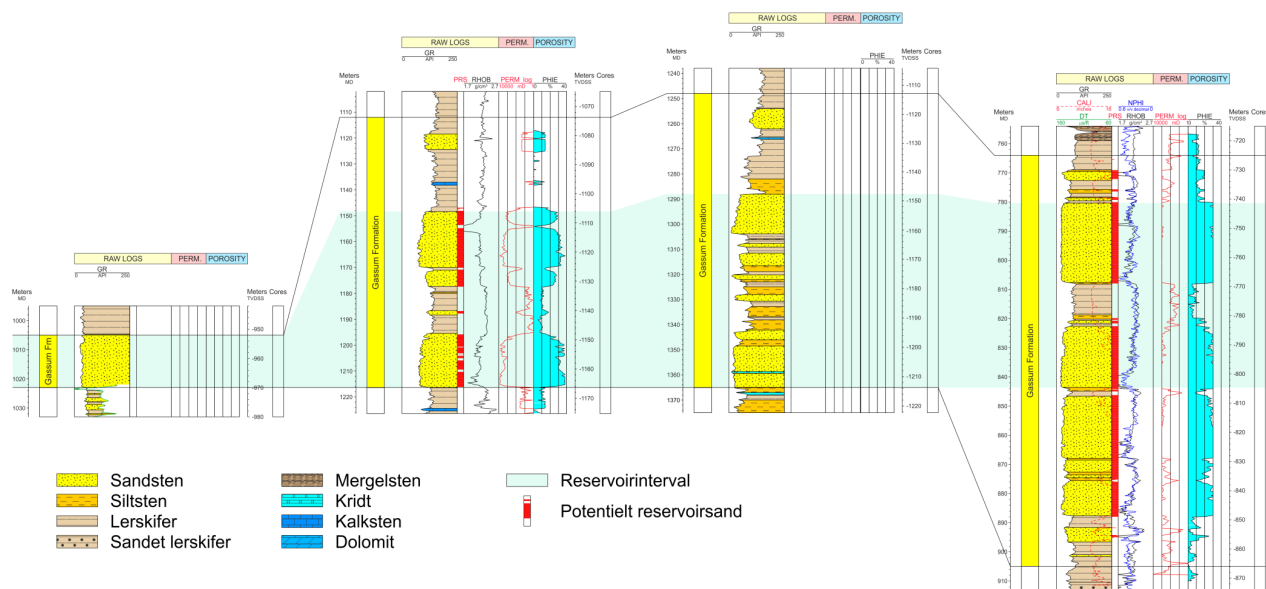
Den sedimentære kontinuitet kan betragtes som værende stor omkring Sønderborg baseret på de ensartede logmønstre for reservoirintervallet i Kværs-1, Sønderborg-1 og -2 samt Kegnæs-1 (Figur 6). Derimod viser den seismiske kortlægning, at den strukturelle kontinuitet er begrænset, først og fremmest grundet udpræget saltbevægelse og ledsagende forkastningsaktivitet i området. Interne reservoirintervaller i Gassum Formationen kan derfor kun betragtes som værende i hydraulisk kontakt over begrænsede afstande i de områder, hvor formationen er til stede. Den begrænsede strukturelle kontinuitet i området fordrer en tæt datadækning i form af seismiske data, når sammenhængende geotermiske reservoirer skal kortlægges.

Kværs-1

Sønderborg-1

Sønderborg-2

Kegnæs-1



Figur 6: Sammenligning af Gassum Formationen fra vest mod øst repræsenteret ved Kværs-1, Sønderborg-1, Sønderborg-2 og Kegnæs-1 brøndene. Omtrentlig placering og afstand mellem brøndene fremgår af Figur 2. Formationen er i borerne vist med dens vertikale tykkelse, og der er således korrigeret for boringernes eventuelle afbøjning. Det er ikke muligt at tolke Potentielt reservoirsand for Kværs-1 og Sønderborg-2. MD: Målt dybde fra referencepunkt på boreplatform (venstre dybdeskala), TVDSS: Vertikale dybde under havniveau (højre dybdeskala).



## 5.2 Reservoirkvalitet

Vurderingen af reservoirkvaliteten af Gassum Formationen bygger først og fremmest på tolkning af borehulslogs kombineret med eksisterende beskrivelser af borespåner foretaget i forbindelse med udførelsen af borerne Sønderborg-1, Sønderborg-2, Kegnæs-1 og Kværs-1 (Tabel 5.1). Der er ikke optaget traditionelle "wireline" logs i Sønderborg-brøndene, som derimod er logget, mens borerne blev udført. Både de optagne og tolkede logs i Sønderborg-1, Sønderborg-2, Kegnæs-1 og Kværs-1 er nærmere beskrevet i Tabel 5.2.

Tabel 5.1: *Overblik over dybdeintervaller i målt dybde fra referencepunkt på boreplatformen (MD) af Gassum Formationen i Sønderborg-brøndene og de nærmeste dybe brønde med tilhørende kommentarer om tilgængeligt kernemateriale.*

<b>Brønd</b>	<b>Dybdeinterval [m MD]</b>	<b>Kerner [m MD]</b>	<b>Sidevægskerner [m MD]</b>
<b>Sønderborg-1</b>	1112–1216	Ingen	Ingen
<b>Sønderborg-2</b>	1248–1365	Ingen	Ingen
<b>Kegnæs-1</b>	764–905	Ingen	764,7–904,0
<b>Kværs-1</b>	1005–1023	Ingen	1009

Tabel 5.2: Liste over rå-logs anvendt i danske onshore borer og tolkede logkurver.

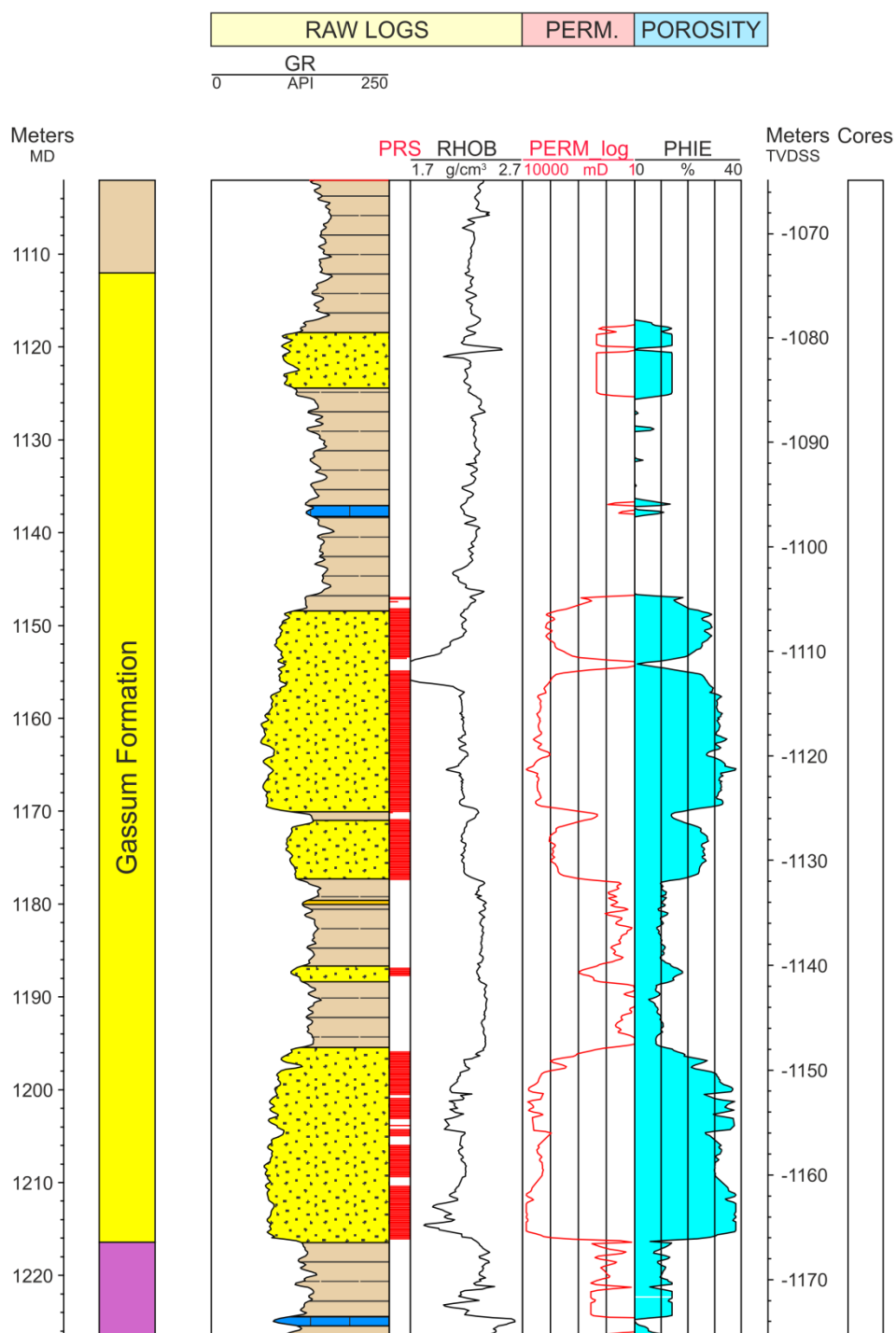
Beskrivelse	Log-navn	Enhed	Log-funktion
Gamma logs	GR	API	Måler naturlig radioaktivitet
	GR_DEN	API	Måler naturlig radioaktivitet sammen med densitetslog
	GR_SON	API	Måler naturlig radioaktivitet sammen med sonic log
Spontaneous potential log	SP	mV	Måler spontaneous potential ('selv-potentialet')
	GRpseudo	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 <sup>3</sup>	Måler bulk-densiteten af bjergarten
	RHOZ	g/cm <sup>3</sup>	Måler bulk-densiteten af bjergarten
Log-beregnet permeabilitet	PERM_log	mD	Beregnet log-kurve baseret på PHIE
Log-beregnet effektiv 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)

### 5.2.1 Tolkning af lithologi

På baggrund af logdata og eksisterende beskrivelser af opboret materiale fra Sønderborg-boringerne har GEUS tolket variationen af den bjergartsmæssige sammensætning indenfor Gassum Formationen, dvs. en tolkning af lithologien og primært fordelingen af sand- og lersten (Figur 6–8). Borepåne-beskrivelserne understøtter log-tolkningen, og desuden fremgår det af beskrivelserne, at den nedre sandstensenhed i reservoirintervallet består af forholdsvis velsorteret, fin- til grovkornet sand med kantede til subkantede kornformer.

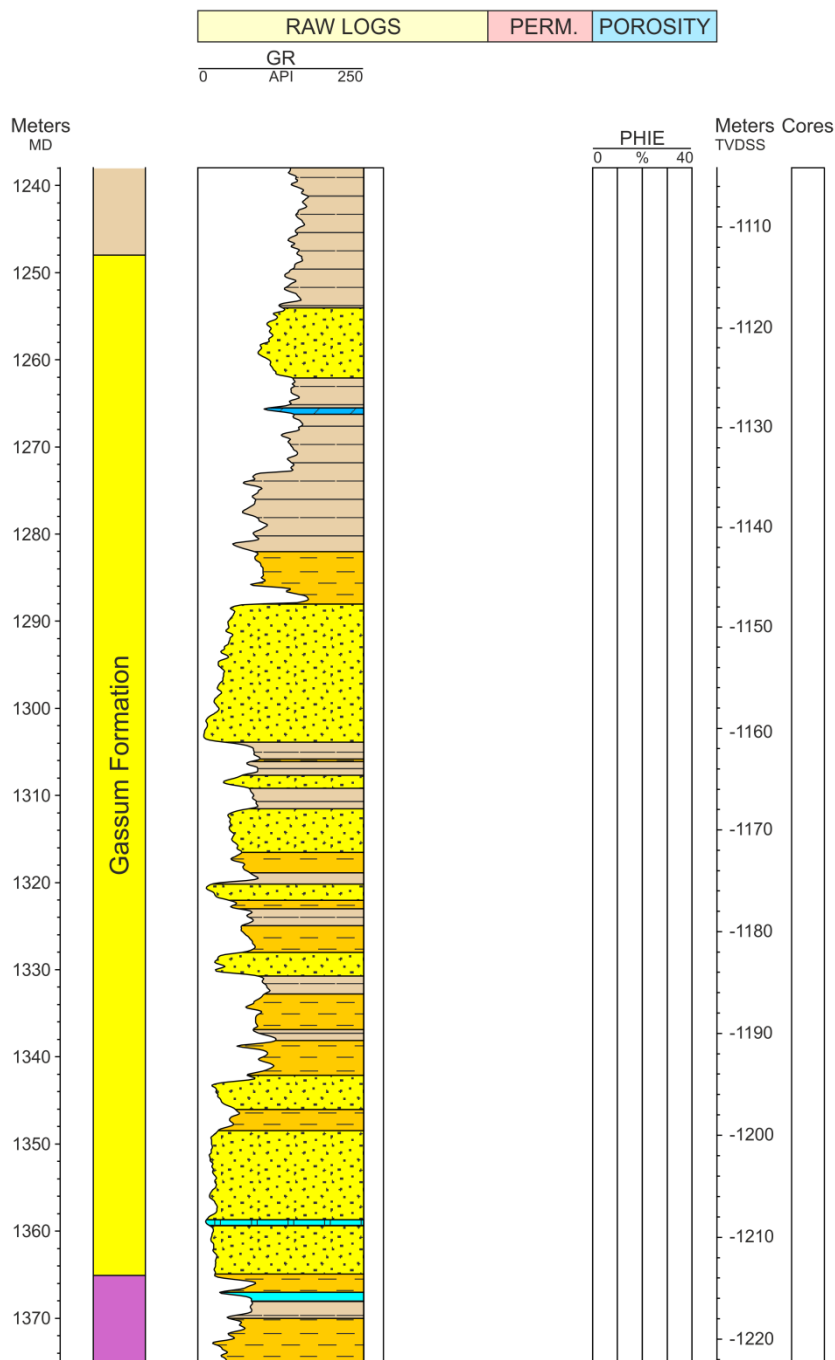
Den øvre sandstensenhed domineres af velsorteret, finkornet sand (stedvis med kulfrag-  
menter) med kantede til subafrundede kornformer. Endvidere beskrives reservoirsandet  
som værende ucementeret eller kun lidt cementeret (DONG Energy 2010a, 2010b).

# Sønderborg-1



Figur 7: Petrofysisk log-tolkning af Gassum Formationen i Sønderborg-1 inklusiv en tolkning af lithologien. Lithologikolonnen er afgrænset af gamma-ray (GR) loggen. 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. Farvekoden for lithologien: Gul: sandsten, brun: lerskifer, orange: siltsten, blå: kalksten. Logforkortelserne er forklaret i Tabel 5.2. Formationen er i boringen vist med dens vertikale tykkelse. MD: Målt dybde fra referencepunkt på boreplatform, TVDSS: Vertikale dybde under havniveau.

# Sønderborg-2



Figur 8: Petrofysisk log-tolkning af lithologien i Gassum Formationen i Sønderborg-2. Lithologikolonne er afgrænset af gamma-ray (GR) loggen. En evaluering af porøsitet (perm) og andelen af Potentielt reservoirsand er ikke mulig, da log-sættet ikke er komplet. Farve-koden for lithologien: Gul: sandsten, brun: lerskifer, orange: siltsten, blå: kalksten. Logfor-kortelserne er forklaret i Tabel 5.2. Formationen er i boringen vist med dens vertikale tyk-kelse. MD: Målt dybde fra referencepunkt på boreplatform, TVDSS: Vertikale dybde under havniveau.

### 5.2.2 Vurdering af tykkelser, lerindhold og porøsitet

I Sønderborg-1 er det muligt at tolke formationens porøsitet samt tykkelsen af både Gross sand og Potentielt reservoirsand, mens der i Sønderborg-2 kun er kørt få logs, og i denne boring er det derfor kun muligt at bestemme tykkelsen af Gross sand.

I Sønderborg-1 og Sønderborg-2 er Gassum Formationen henholdsvis 92 og 101 meter tyk, hvoraf Gross sand udgør ca. 40 meter i begge borerne. 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 5.3).

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 i Sønderborg-1 vurderet til ca. 39 meter, dvs. stort set alt tilstedeværende sand i Gassum Formationen vurderes til at udgøre Potentielt reservoirsand. Den gennemsnitlige porøsitet af reservoir-sandet er ud fra log-tolkning bestemt til ca. 28 % (Tabel 3.1). Porøsitetstolkningen er baseret på en ler-korrigeret densitets-log, og der er anvendt en sandstens densitet på 2,65 g/cc svarende til densiteten for ren kvarts.

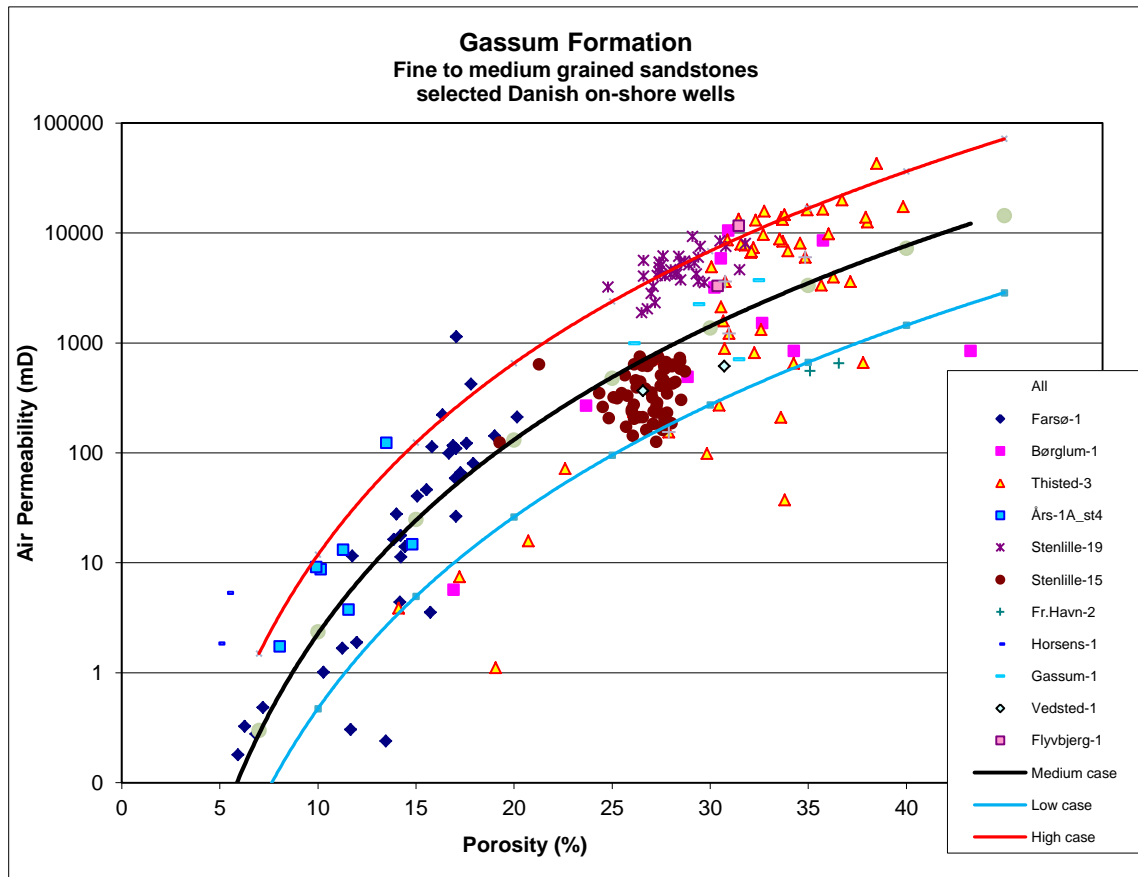
Tabel 5.3: Responsparametre for gamma-ray (GR) log for Sønderborg-1 og-2 borerne.

Responsparametre for gamma-ray (GR) log	GR_min (baggrundsstråling)	GR_max (respons for rent ler)
Sønderborg-1	75	200
Sønderborg-2	12	150

### 5.2.3 Permeabilitet

Permeabiliteten kendes ikke fra kerner i Sønderborg-området, da der ikke er udtaget kerner i hverken Sønderborg-1 eller Sønderborg-2, men GEUS har tidligere bestemt en sammenhæng mellem kerne-permeabilitet og porøsitet i Gassum Formationen. Denne porøsitet-permeabilitetsrelation er baseret på kerneanalyser fra en række danske landboringer i Jylland og på Sjælland (Figur 9). GEUS forventer, at denne landsdækkende korrelation også gælder for Sønderborg-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 færdigtalte 'cut-off' værdier er den gennemsnitlige gas-permeabilitet for reservoir-sandstenen estimeret til ca. 2800 mD (vægtet gennemsnit) svarende til en reservoir-permeabilitet på omtrent 3500 mD. Beregningen af reservoir-permeabiliteten bygger på en opskalering af de laboratorie-bestemte gas-permeabiliteter

til reservoirforhold efterfulgt af en omregning til væske-permeabilitet. Vurderingen af permeabiliteten bygger på erfaringsmæssige sammenhænge, f.eks. som vist i Figur 9, og herudover er tidligere foretagne vurderinger af Gassum Formationen udenfor studieområdet udnyttet.



Figur 9: Generaliseret sammenhæng mellem porøsitet og permeabilitet estimeret ud fra kerneanalyse data, dvs. målinger af porøsitet og permeabilitet på små plug prøver primært fra sandstenslag i Gassum Formationen. Korrelationen er ikke entydig, og derfor er variationsbredden belyst med 3 tendens-linjer (Høj, Medium og Lav "cases"). Det antages at linjen med sort farve (Medium) med god tilnærmelse gælder for Sønderborg-området, men dette kan pt. ikke bekræftes på grund af manglende keredata fra formationen i området.

#### 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 Sønderborg-1 vurderet til ca. 137 Darcy-meter. Den høje transmissivitet er i overensstemmelse med en transmissivitet på 129 Darcy-meter fremkommet ved tolkning

af indsamlede testdata fra prøvepumpninger af Sønderborg-brøndene (DONG Energy 2010a, 2010b).

### 5.3 Temperatur

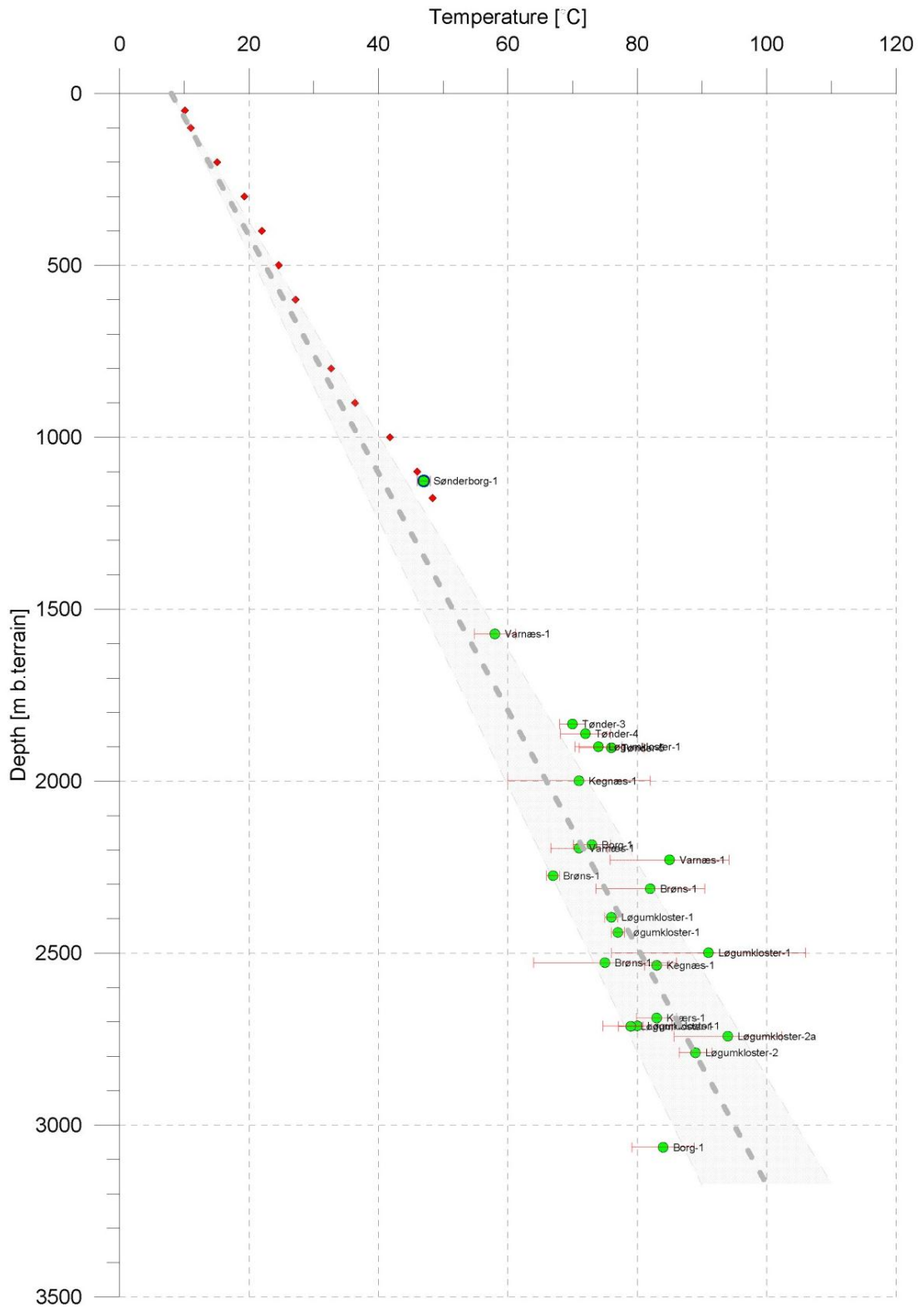
I den geotermiske injektionsbrønd Sønderborg-1/1A er der gennemført fire måleserier med højpræcisions temperaturloggingudstyr over en knap 2-årig periode (Balling & Bording 2013). Målingerne viser en gennemsnitstemperatur for reservoirintervallet i Gassum Formationen på 47 °C, hvilket indebærer en temperaturgradient på 34 °C/km ved Sønderborg-lokaliteten. I produktionsbrønden (Sønderborg-2) er midten af formationen beliggende ca. 43 meter dybere end i injektionsbrønden (svarende til ca. 1165 meter under terræn). På baggrund af disse data må temperaturen i midten af formationen i produktionsbrønden forventes at være ca. 48 °C.

Figur 10 viser en generel dybde-temperatur relation for det sydlige Danmark med data fra de nærmeste brønde og med angivelse af et usikkerhedsbånd på  $\pm 10\%$ . Temperaturgradienten er givet ved:  $\text{Temp.} = 0,029 \cdot \text{dybde} + 8 \text{ °C}$  og er dermed lidt højere end den generelle temperaturgradient for resten af Danmark givet ved:  $\text{Temp.} = 0,027 \cdot \text{dybde} + 8 \text{ °C}$  (Balling & Bording 2013; Poulsen et al. 2013).

Den målte/estimerede temperatur i reservoirintervallet i produktionsboringen (Sønderborg-2) er ca. 6 grader højere end den temperatur, der fremkommer, hvis man benytter den generelle dybderelation for det sydlige Danmark. Ved en dybde på omkring 1165 meter giver denne således en temperatur på omkring 42 °C. Dette svarer til en afvigelse, der er lidt større end det usikkerhedsinterval på  $\pm 10\%$ , som normalt knyttes til temperatur-dybde relationen (Figur 10).

Den højere temperaturgradient ved "prognoselokaliteten" kan skyldes tilstedeværelsen af lag med lav varmeledningsevne, høje temperaturgradienter i Fjerritslev Formationen og i de lerholdige tertiære lag i den øverste del af lagserien samt et bidrag fra en noget højere temperaturgradient i kalkserien (Balling & Bording 2013). Endvidere kan temperaturen i mindre grad være påvirket af nærtliggende saltstrukturer. I Tabel 3.1 er det den målte/estimerede temperatur på 48 °C, der er angivet, da det er den mest korrekte værdi at inddrage i de økonomiske beregninger.





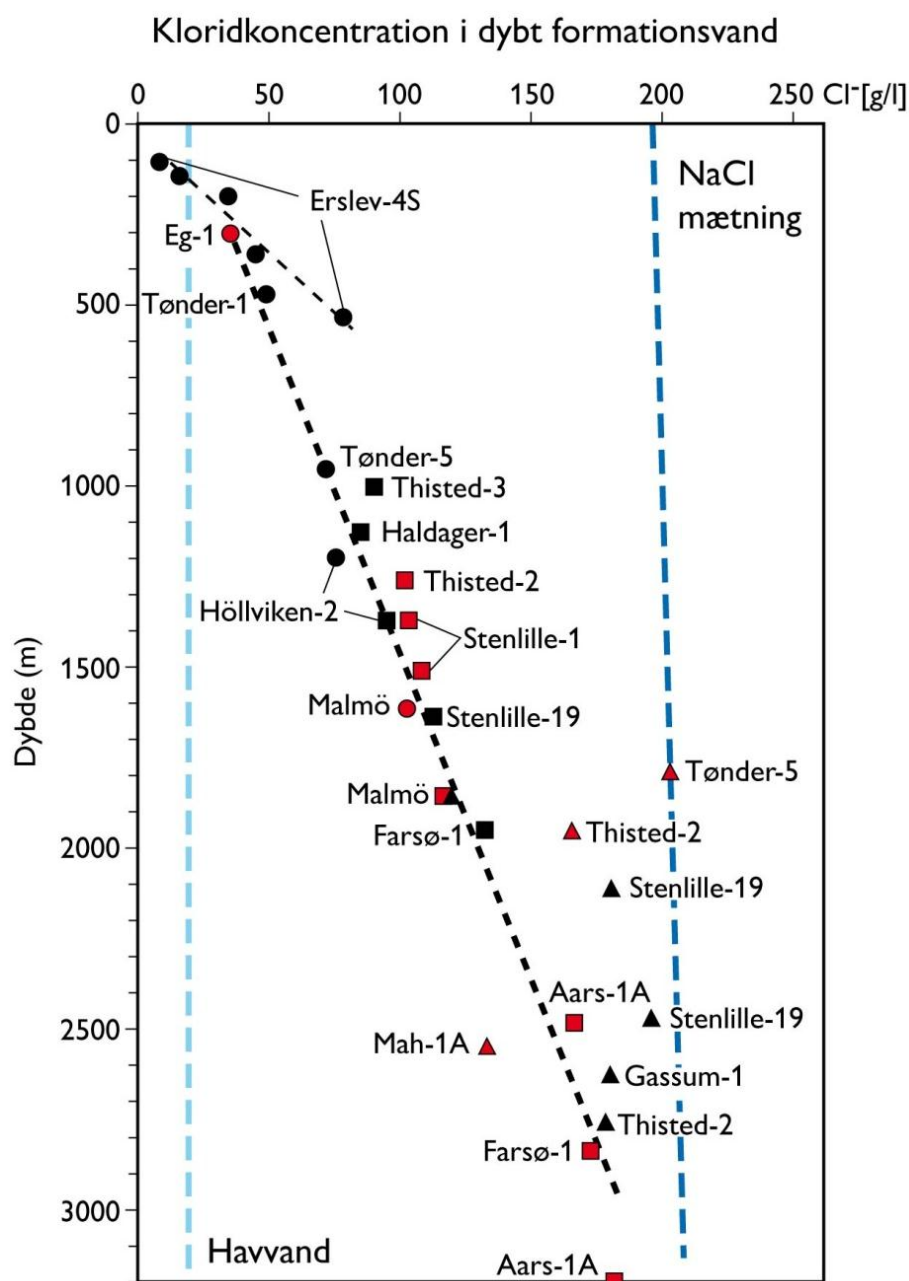
Figur 10: Estimeret dybde-temperatur relation (grå stiplede linje) for det Danske Bassin baseret på temperaturdata fra dybe brønde (Poulsen et al. 2013) Endvidere er der vist et usikkerhedsbånd på  $\pm 10\%$ . Temperaturdata fra de nærmeste dybe brønde til "prognose-lokaliteten" er vist som punkter. Røde punkter repræsenterer temperaturmålinger i Sønderborg-1 brønden (Balling & Bording 2013).

## 5.4 Salinitet

I Sønderborg-området er der i forbindelse med prøvepumpning af boringerne Sønderborg-1 og Sønderborg-2 foretaget analyse af formationsvandets kemi i Gassum Formationen (Tabel 5.4). Formationsvandtes saltholdighed, udtrykt ved kloridkoncentrationen, er på 96-97 g/l. Dette er kun lidt højere end den koncentration, som må forventes ud fra den generelle relation mellem dybden og kloridkoncentrationen, når dybden er ca. 1150 meter under terræn (Figur 11). Kloridkoncentrationen er væsentlig lavere end mætningspunktet for NaCl, der ligger omkring 200 g/l  $\text{Cl}^-$  ved den pågældende formationstemperatur. I olieindustrien er det praksis at angive formationsvandets saltholdighed ved mængden af alle salte i vandet. Den samlede saltholdighed (TDS = Total Dissolved Solids) er 157 g/l.

Tabel 5.4: *Kemisk analyse af vandprøver fra de geotermiske boringer i Sønderborg.*

Boring	pH	HCO <sub>3</sub>	----- mg/l -----			----- mg/l -----				
			Cl	Br	SO <sub>4</sub>	Na	K	Mg	Ca	Fe <sup>2+</sup>
SG-1	6,6	100	96000	320	910	52700	330	1210	4430	15
SG-2	6,5	100	97000	350	900	53000	380	1150	4420	10



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

- Balling, N. & Bording, T.S. 2013: Temperatur, temperaturgradienter og varmeledningsevne i den geotermiske boring Sønderborg-1/1A. Forskningsrapport, Institut for Geoscience, Aarhus Universitet, 12 pp.
- Bertelsen, F. 1978: The Upper Triassic – Lower Jurassic Vinding and Gassum Formations of the Norwegian–Danish Basin. Danmarks Geologiske Undersøgelse Serie B, Nr. 3, 26 pp.
- DONG Energy 2010a: Sønderborg Geothermal Wells, Final Well Report Sønderborg-1/1A.
- DONG Energy 2010b: Sønderborg Geothermal Wells, Final Well Report Sønderborg-2.
- 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., 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.
- 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.