



COWI



Landsdækkende screening af geotermi i 28 fjernvarmeområder

Bilag 3: Områderapport for Brønderslev

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
DATO
TIL
KOPI
FRA
PROJEKTNR

Brønderslev - Beskrivelse fjernvarmeområde

10. oktober 2014

Energistyrelsen

COWI (Else Bernsen/Kurt Madsen)

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

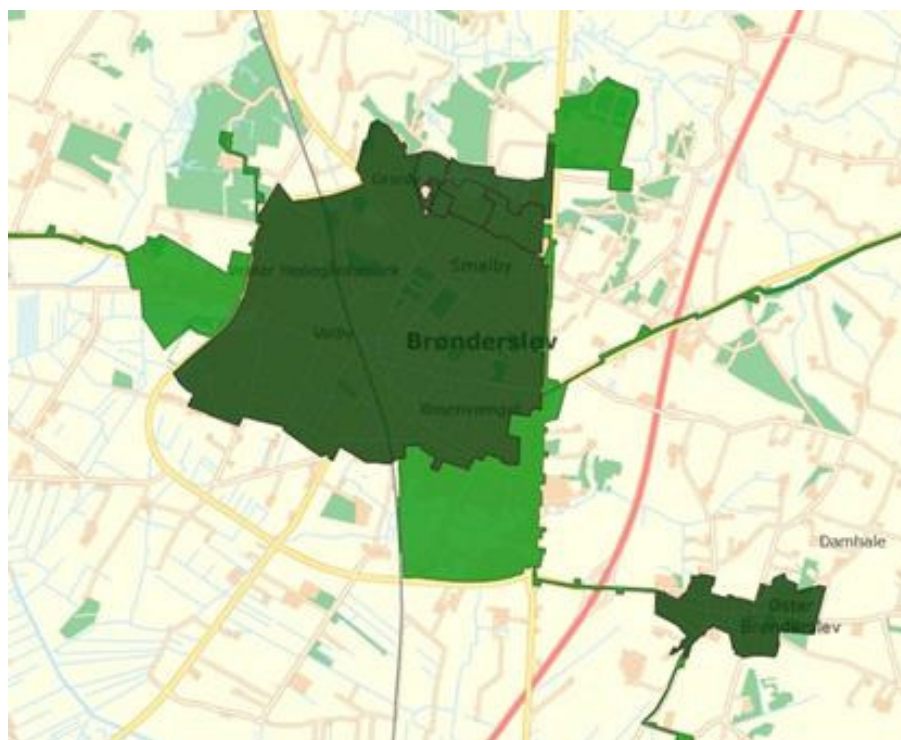
SIDE 1/4

1 Brønderslev fjernvarmeområde

1.1 Nuværende forsyningsområde

Fjernvarmeforsyningen i Brønderslev by varetages af Brønderslev Varme A/S, der er datterselskab af det kommunalt ejede Brønderslev Forsyning A/S.

Nedenstående kort viser det nuværende forsyningsområde:



Figur 1 Oversigtskort over forsyningsområder i Brønderslev og Øster Brønderslev.

Fjernvarmeforsyningen i oplandsbyen Øster Brønderslev (321 forbrugere) varetages af Øster Brønderslev Fjernvarmeselskab. Varmen produceres her via et naturgasfyret kraftvarmeværk med en årlig energiproduktion på 8 GWh/29 TJ).



Figur 2 Oversigtskort over Brønderslev Forsyning A/S forsyningsområde i Brønderslev (kortudsnit fra TERMIS)

Varmen til Brønderslev by produceres primært på naturgasfyrede kedler (54%), kraftvarmeværket (40%) og biogasvarme (6%).

Kraftvarmeanlægget er idriftsat i 1995. Gasmotorerne blev opgraderet/hovedreoveret i 2004-05. I 2005-6 blev bygning udvidet og ny gasfyret kedel installeret.

Efterfølgende tabel viser varmebehovet for forsyningsområdet i Brønderslev by.

Tabel 1 Nuværende og fremtidigt varmegrundlag

Varmegrundlag					
Brønderslev					
MWh/år	2012*	2013*	2015**	2025**	2035**
Eksisterende forbrugsbase Netto varme	93.388	98.304	102.000	102.000	102.000
Distributionstab	38.837	35.454	36.000	36.000	36.000
An net	132.225	133.758	138.000	138.000	138.000
TJ/år					
Nettovarme	336	354	354	354	354
Distributionstab	140	128	128	128	128
An net	476	482	482	482	482
* Baseret på Miljøredegørelser fra 2012 og 2013 fra Brønderslev Forsyning samt DF Årsstatistik 2012					
Energistyrelsens Udbud angiver som gns 5 år 443 TJ/år samlet an net					
** Aftalte værdier ud fra samlet an net 138 GWh					
Der er rimelig sammenhæng mellem DF-statistik 468 TJ, Miljøredegørelser 476 TJ og ENS udbud på 443 TJ					

Varmebehov forventes at være nogenlunde konstant fremover – eventuelle yderligere nye tilslutninger fra konverteringer af naturgasområder opvejes af energibesparelser.

95% af de potentielle kunder inden for forsyningsområdet er tilsluttet.

Følgende temperaturforhold forventes fremadrettet i Brønderslev:

Tabel 2 Temperaturforhold

Sommer an net		Vinter an net	
Fremløb	Retur	Fremløb	Retur
Prognose			
70	40	75	37

Det samlede effektbehov forventes fremover at udgøre 33 MW.

1.2 Nuværende produktionsstruktur

Nedenstående tabel giver en oversigt over den nuværende varmeproduktionsstruktur i Brønderslev.

Tabel 3 Varmeproduktionsstruktur 2012 (fra Energistyrelsens energiproducenttælling)

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	Naturgas		
Brønderslev by														
Brønderslev Varme A/S, Eventyrvej	Kedel	Naturgas	1	1	15	0	12		75%			0,7		
Brønderslev Varme A/S, Nordens Alle	Kedel	Naturgas	1	2	18	0	15		85%			1,5		
Brønderslev Varme A/S, Kramftvarmeværk	Motor 1-7	Naturgas	192	364	55	23	29	41%	53%	01-10-1995		364,4		
Brønderslev Varme A/S, Kramftvarmeværk	Kedel (2 stk.)	Naturgas	256	251	35	0	35		100%			250,8		
Total			450				90							
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														
** Varmevirkningsgraderne er baseret på de angivne værdier for indfyret effekt og varmeeffekt.														

Anlæggenes geografiske placering er illustreret nedenfor.



Figur 3 Geografisk placering af varmeproduktionsanlæg

1.3 Fremtidig forsyningsstruktur

Primo 2013 er der idriftsat en 20 MW elkedel til sikring af optimale driftsforhold.

Varmeforsyningen arbejder jf. Miljøredegørelsen for 2013 på at afdække mulighederne i en fremtid, hvor naturgas udfases og hvor alternative energikilder som geotermi, solvarme, biogas/biomasse, varmepumper kan erstatte eller supplere varmeforsyningens varmeproduktion. Der arbejdes endvidere på at konvertere forbrugere i individuelle naturgasområder til fjernvarme.

I forbindelse med screeningen er det valgt at tage udgangspunkt i en placering af et eventuelt nyt geotermianlæg på adressen Virksomhedsvej 20, samme sted som gasmotoranlæg og gaskedler er placeret.

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 ved Brønderslev

1 Indledning

Dansk Fjernvarmes Geotermiselskab, COWI og Ea Energianalyse har for Energistyrelsen udført beregninger af de økonomiske og tekniske forhold i et geotermianlæg i Brønderslev. 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.: Brønderslev_2014_08_06.docx) og data for fjernvarmeforsyningen i Brønderslev leveret af COWI på baggrund af forskellige datakilder, herunder data indhentet hos Brønderslev Varme (ref.: Beskrivelse af fjernvarmeområder gruppe 3, august 2014).

Der tages udgangspunkt i en placering af et eventuelt geotermianlæg ved det eksisterende kraftvarmeværk på Virksomhedsvej 20.

2 De geologiske forudsætninger

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

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

Formation		Gassum Fm
Terrænkote	moh	10
Dybde@midt reservoir	m TVD GL	1396
Temperatur@midt reservoir	°C	46
Tykkelse af formation	m TVT	118
Tykkelse af potentielt reservoirsand	m TVT	53
Transmissivitet	Dm	40
Seismik-anbefaling	km	50

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.

Varmegrundlag	TJ/år	482
Eksisterende produktionsanlæg med forret. Antages tilgængelig som drivvarme.	MW	0
Fremløbstemperatur vinter	°C	82
Returløbstemperatur vinter	°C	38
Fremløbstemperatur sommer	°C	76
Returløbstemperatur sommer	°C	41
Mindste varmeeffekt (sommereffekt)	MW	Standard kurve

Tabel 2: Energiforudsætninger for geotermianlæg ved Brønderslev.

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 det forudsættes at der etableres anlæg, der kan levere drivvarme ved 160 °C. 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.

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

5 Resultater

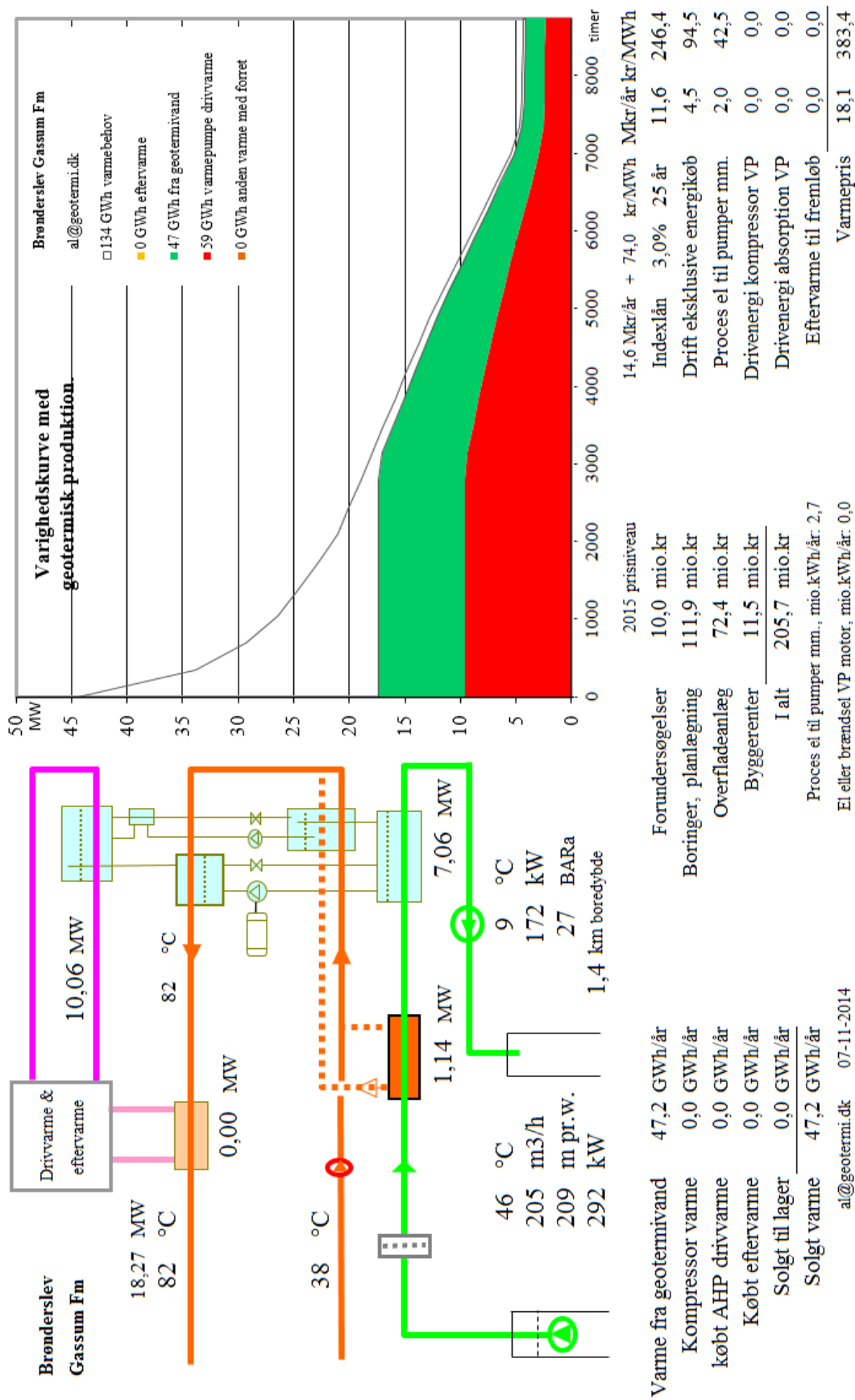
Resultaterne af anlægsberegninger er samlet i den følgende Tabel 3. Desuden vises resultater for hver geotermiPRO-beregning i en figur indeholdende anlægsskitse med energibalance, varighedskurve med geotermibidrag samt økonomiske nøgletal. Output fra standard-beregningen vises i Figur 1. Resultater fra de supplerende anlægsberegninger for et geotermianlæg med el-varmepumper er vist i Figur 2.

En anlægsberegning for et anlæg med absorptionsvarmepumper og placeret på én lokalitet, standardberegningen, viser at der med en samlet investering på 206 mio. kr. kan etableres et geotermianlæg med en kapacitet på 8,2 MW varme fra undergrunden og en total effekt inklusiv driv- og eftervarme på 18,3 MW.

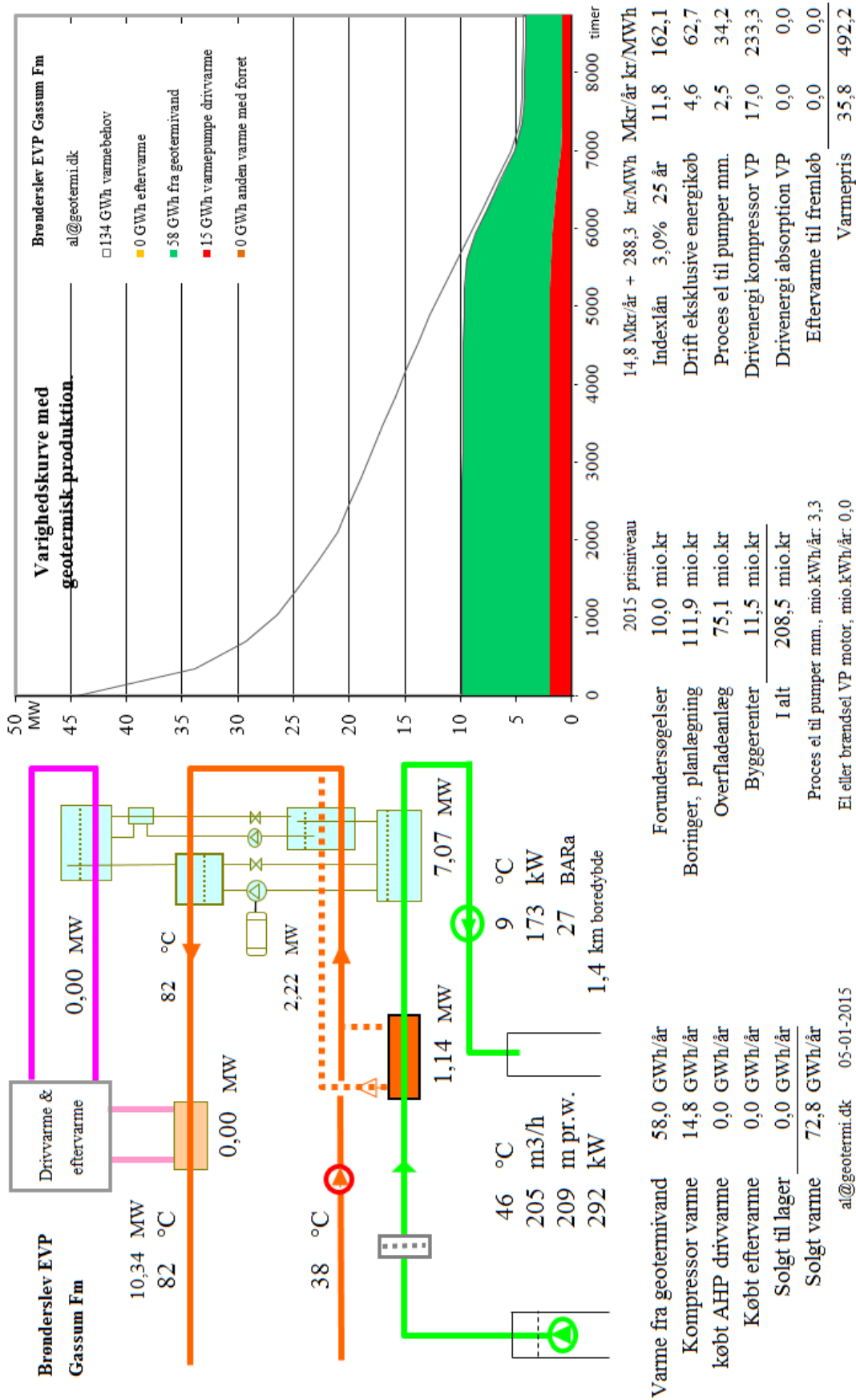
Med de generelle forudsætninger, herunder antagne energipriser og kalkulationsrente, resulterer dette i en årlig varmeproduktion fra undergrunden på 47 GWh/år og en forventet varmepris for geotermivarmen på 383 kr./MWh.

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.



Figur 2: Output fra geotermiPRO ved elvarmepumper.

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	8,207		8,217	8,217
2) Effekt fra drivvarme	MW	10,065		N/A	
3) Effekt fra eftervarme	MW	0,000		N/A	
4) Varmeeffekt til fjernvarmevand	MW	18,268		10,339	
5) Proces el	MW	0,522		0,477	
6) Varmepumpe el	MW	N/A		2,215	
Årsenergiomsætning, forholdstal					
7) Varme fra geotermivand	%	100,000		100,000	
8) Drivvarme	%	124,292		N/A	
9) Eftervarme	%	0,000		N/A	
10) Varme til fjernvarmevand	%	224,292		125,564	
11) Proces el forbrug	%	5,665		5,719	
12) Varmepumpe el forbrug	%	N/A		25,564	
Investeringsomkostninger					
13) Samlet investering	mio. kr	194,285		196,968	234,385
14) Byggerenter	mio. kr	11,459		11,522	12,358
Driftsomkostninger					
15) Faste D&V omkostninger	mio. kr./år	2,975		3,040	3,800
16) Variable D&V omkostninger, eksklusiv energiforbrug, per MWh varme produceret fra geotermivand	kr./MWh	31,492		20,885	

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 Brønderslev. 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."

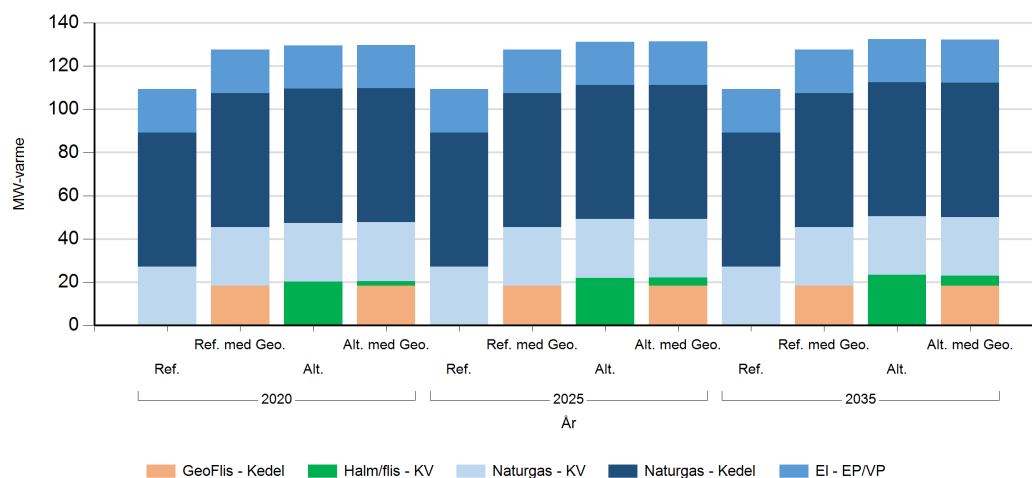
Denne rapport viser varmeproduktionskapaciteter, årlig fjernvarmeproduktion og månedlig fjernvarmeproduktion. Figur- og tabelforklaring er som følger:

- 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 Brønderslev 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.
EI - EP/VP	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
Naturgas - Kedel	62.0	62.0	62.0	62.0	62.0	62.0	62.0	62.0	62.0	62.0	62.0	62.0
Naturgas - KV	27.2	27.2	27.2	27.2	27.2	27.2	27.2	27.2	27.2	27.2	27.2	27.2
GeoFlis - Kedel		18.3		18.3		18.3		18.3		18.3		18.3
Halm/flis - KV			20.2	2.2			21.9	3.7			23.3	4.7

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

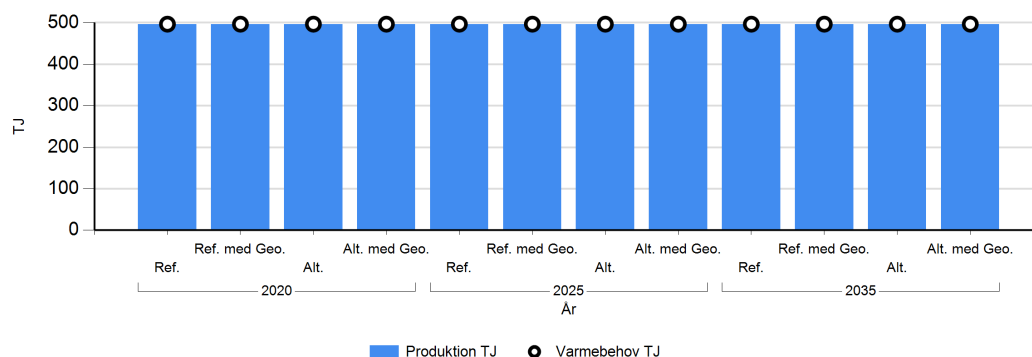
Solvarmeanlæg

m2 Brændsel og Anlægstyper	2035	
	Alt.	Alt. med Geo.
Solvarme	13.389	13.389

Tabel 2: Udvikling i kapaciteten af solvarmeanlæg for Brønderslev.

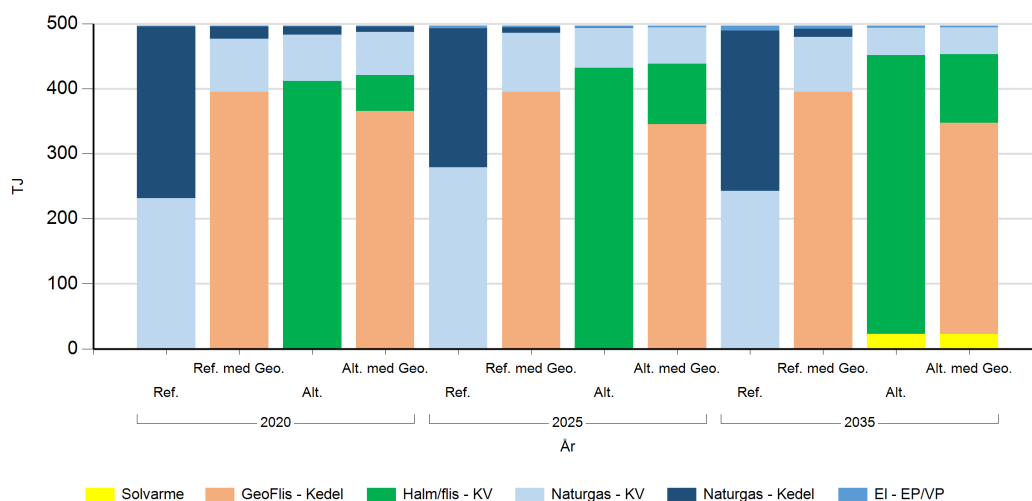
Fjernvarmeproduktion

Fjernvarmeproduktion i forhold til fjernvarmebehov



Figur 2: Fjernvarmeproduktion i forhold til fjernvarmebehov for Brønderslev. 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 Brønderslev.

TJ Brændsler og Anlægstype	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.
GeoFlis - Kedel		395,1		365,7		395,1		345,1		395,1		324,5
Halm/flis - KV			412,0	55,2			431,8	93,2			428,9	105,8
EI - EP/VP	1,4	1,4	1,4	1,4	3,9	2,7	2,2	2,2	7,5	4,4	3,5	2,8
Naturgas - Kedel	263,4	18,5	12,2	8,1	213,7	8,0	0,7		246,4	13,0		
Naturgas - KV	231,9	81,7	71,1	66,3	279,0	90,8	62,0	56,1	242,7	84,2	41,3	40,6
Solvarme											22,9	22,9

Tablet 2: Fjernvarmeproduktion fordelt på brændsler og anlægstyper for Brønderslev.

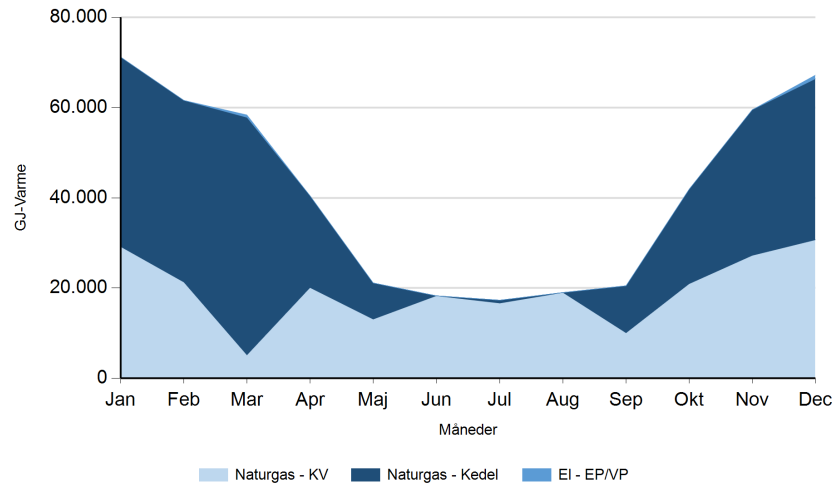
Fuldlasttimer for varmeproduktion

Fuldlast 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.
GeoFlis - Kedel		5.997		5.550		5.997		5.238		5.997		4.926
Halm/flis - KV			5.659	6.869			4.776	6.907			4.533	6.319
EI - EP/VP	19	19	19	19	53	38	30	30	104	61	49	38
Naturgas - Kedel	1.180	83	55	36	958	36	3		1.104	58		
Naturgas - KV	2.370	835	727	678	2.852	928	633	573	2.481	860	422	415

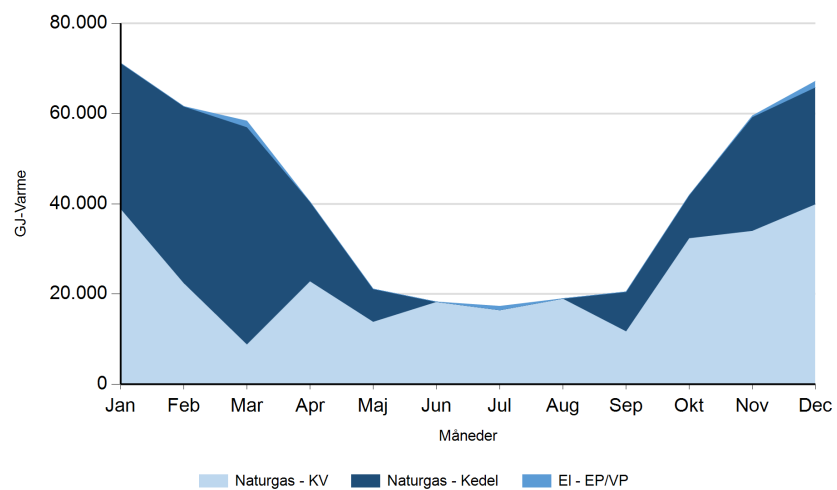
Tabel 4: Antal af fuldlasttimer for varmeproduktion i Brønderslev.

Månedlig varmeproduktion fordelt på brændsler og anlægstyper for Brønderslev.

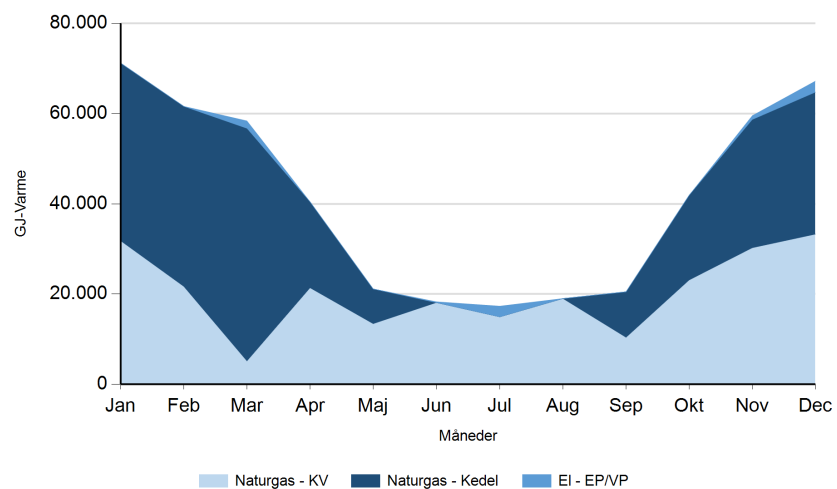
Ref. **2020**



2025

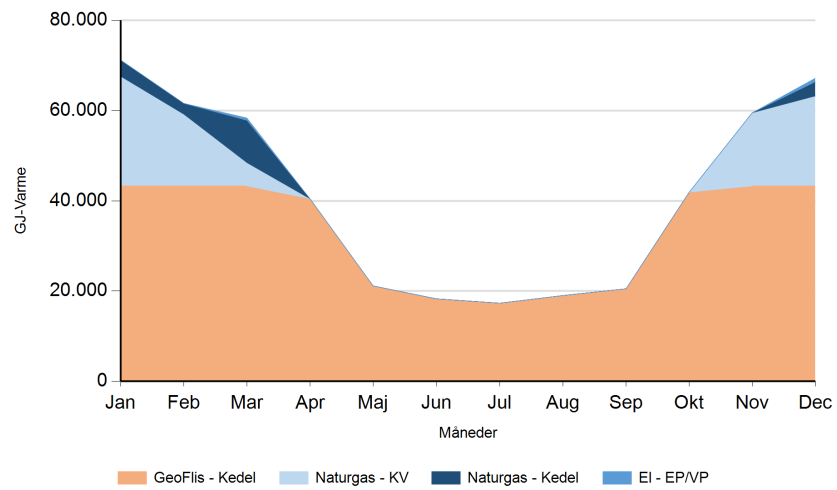


2035

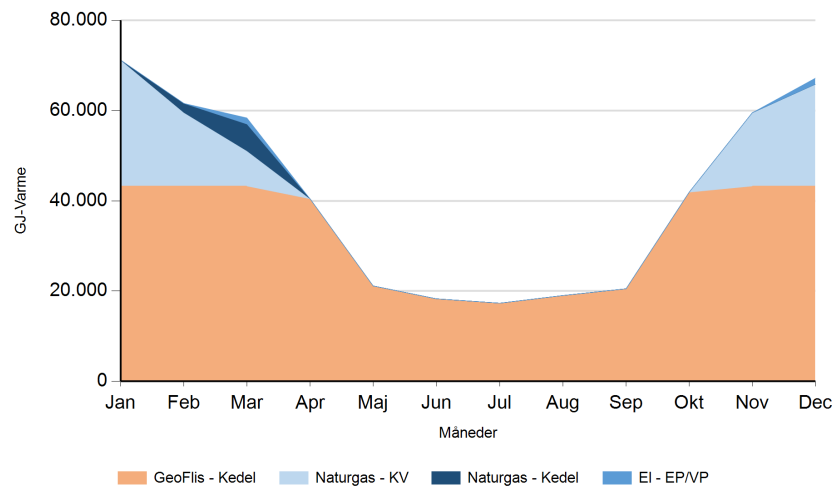




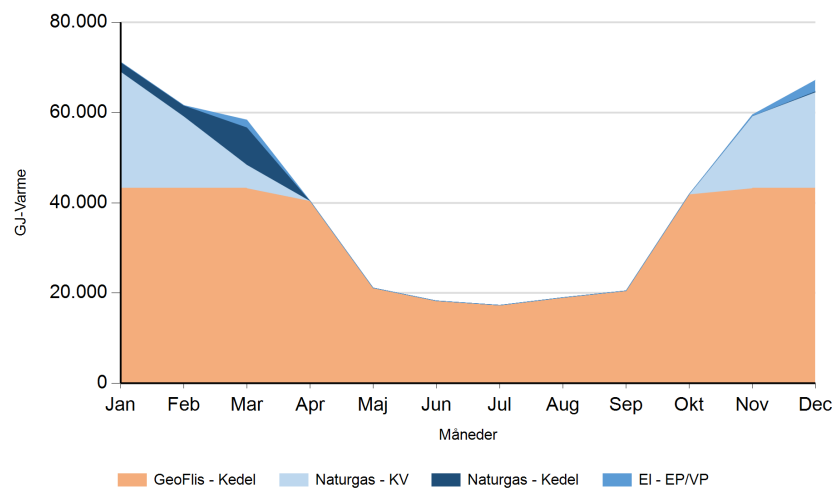
Ref. med Geo. 2020



2025



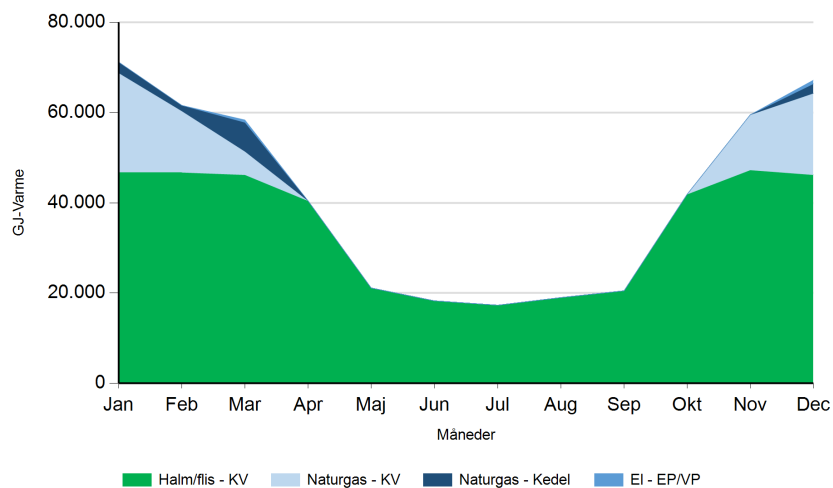
2035



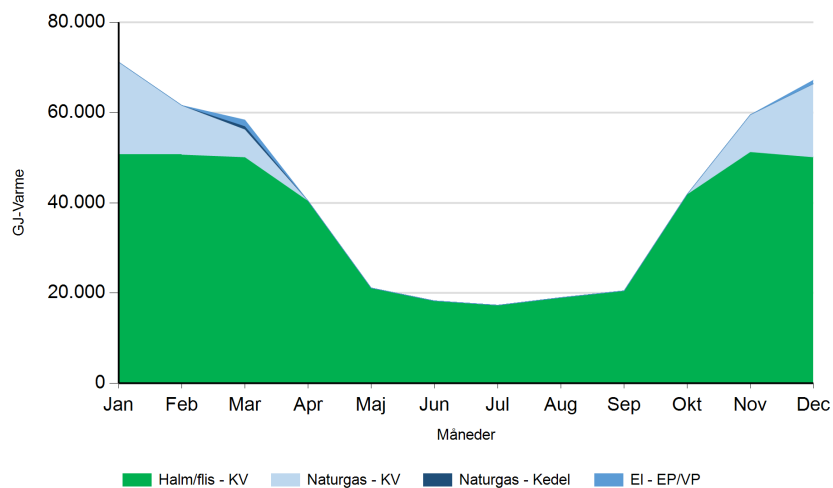


Alt.

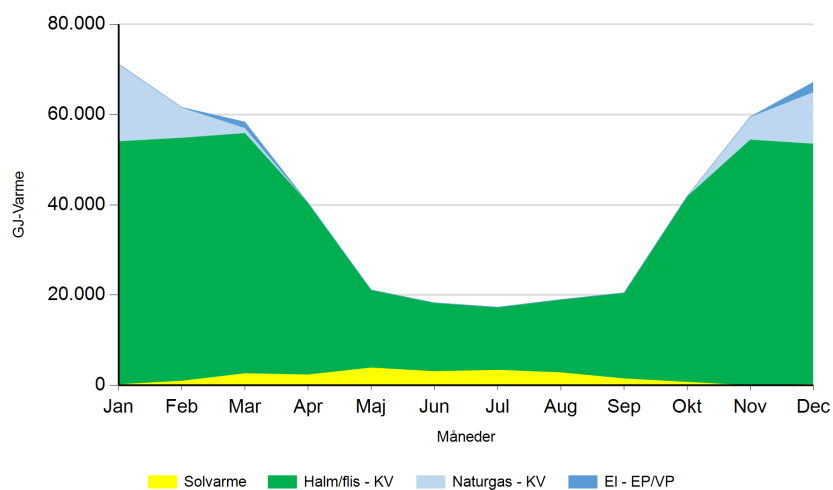
2020

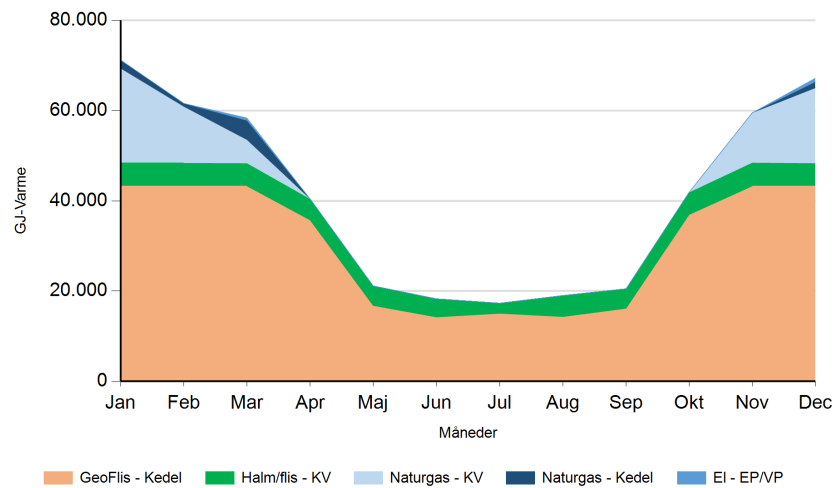
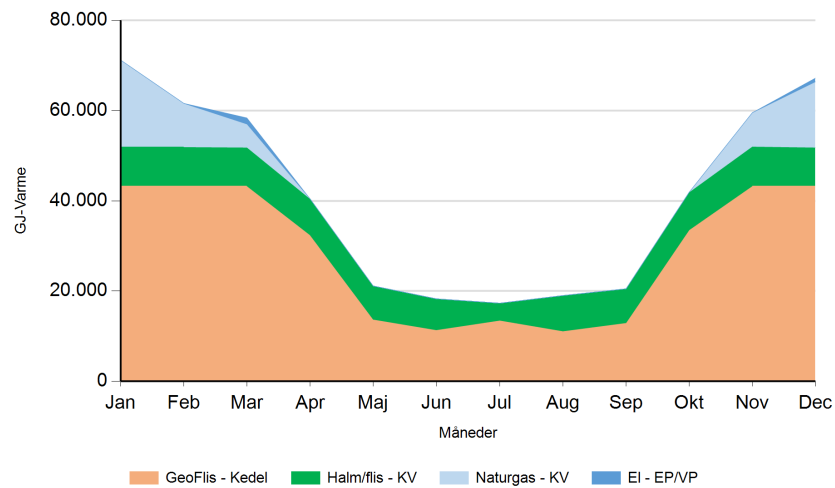
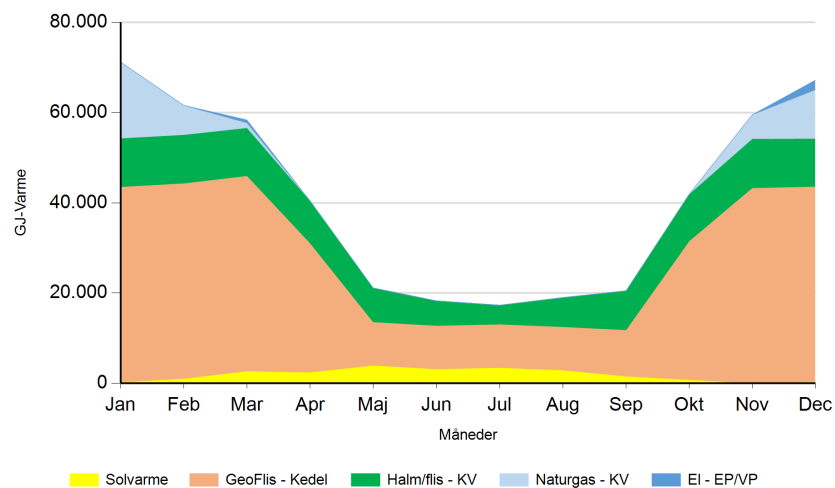


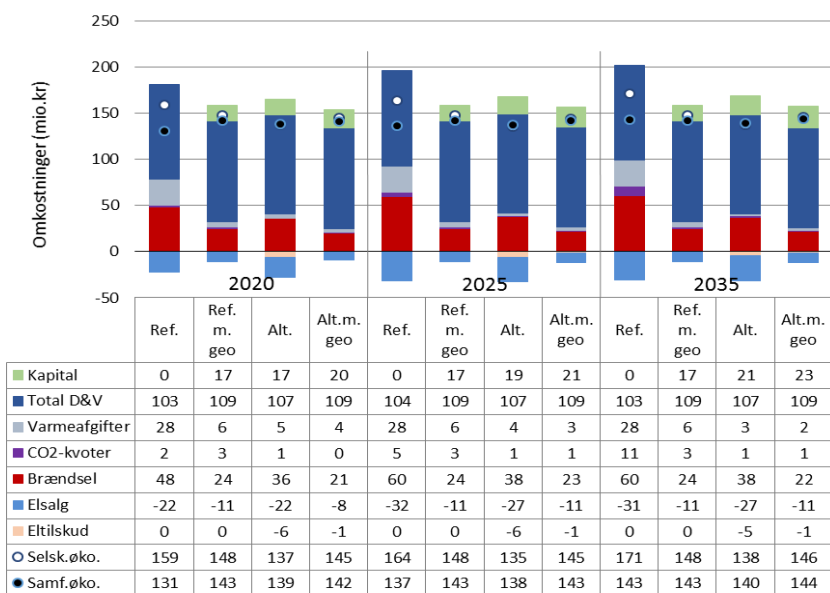
2025



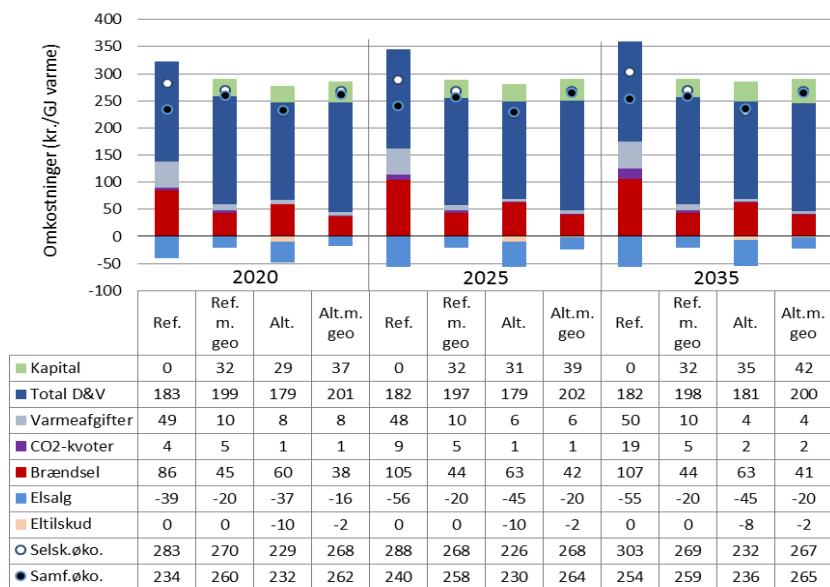
2035



Alt. med Geo. 2020

2025

2035

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



Figur 6: Samlede varmeomkostninger for området Brønderslev



Figur 7: Samlede varmeproduktionsomkostninger for området Brønderslev

Det geotermiske screeningsprojekt

Brønderslev-lokaliteten

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



Indhold

1.	Introduktion	3
2.	Geologisk baggrund	5
3.	Resultater for Brønderslev-lokaliteten	8
3.1	Anbefalinger	10
4.	Datagrundlag	11
5.	Gennemgang af data	14
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.....	22
5.2.2	Vurdering af tykkelser, lerindhold og porøsitet	26
5.2.3	Permeabilitet.....	26
5.2.4	Transmissivitet	27
5.3	Temperatur	28
5.4	Salinitet.....	30
6.	Referencer	31

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 Brønderslev på adressen Virksomhedsvej 20, 9700 Brønderslev (Figur 1). Lokaliteten har tidligere været genstand for en detaljeret gennemgang af de geologiske forudsætninger for udnyttelse af dyb geotermisk energi (Hjuler et al. 2014). 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).

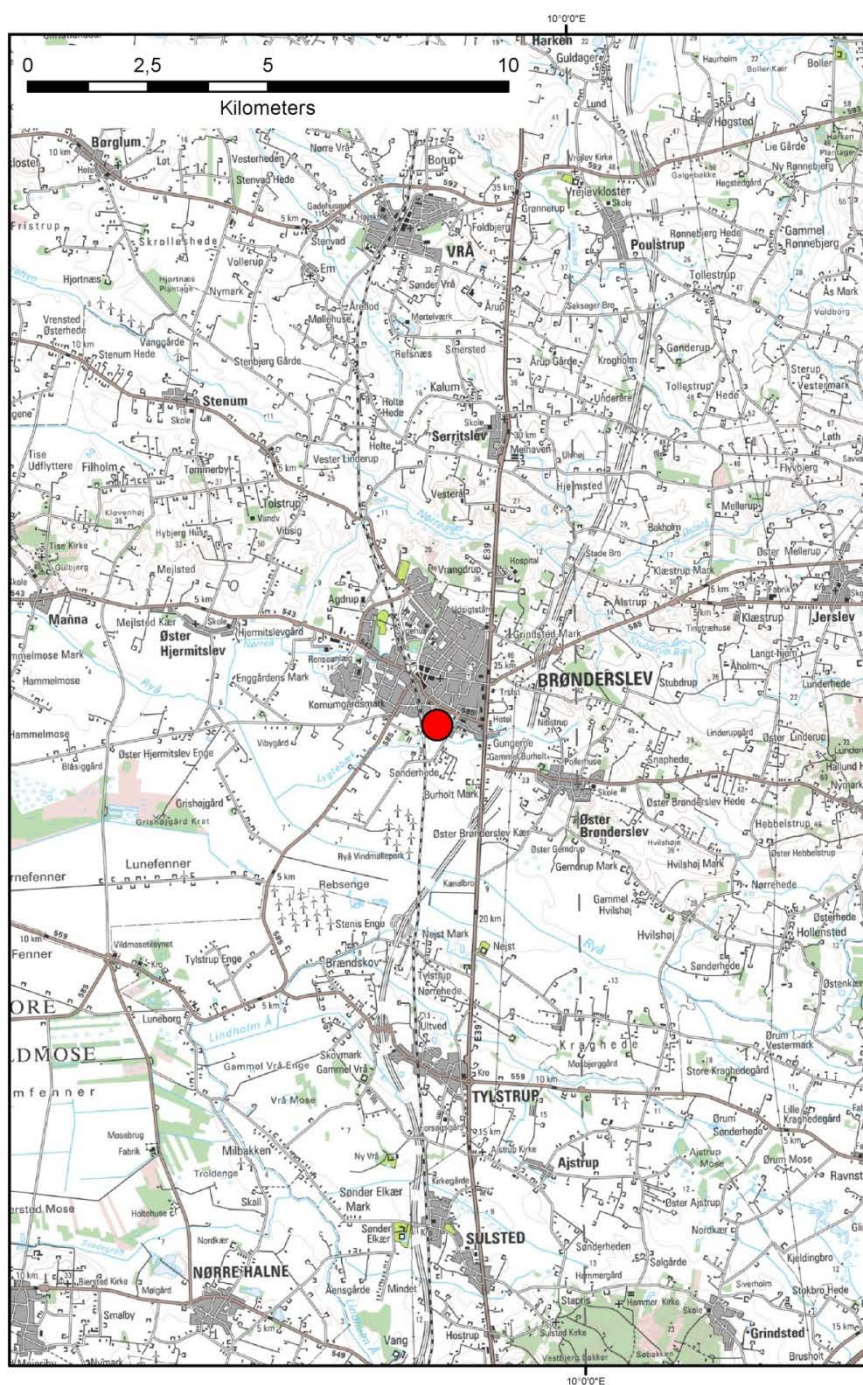
Brønderslev fjernvarmeområde udgør ét af 28 fjernvarmeområder, der skal screenes for de geotermiske muligheder ved en udvalgt lokalitet. Screeningen sker for midler afsat i den Energipolitiske aftale af 22. marts 2012. De 28 fjernvarmeområder er i udgangspunktet valgt ud fra, at deres varmemarked er 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 samfunds- 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 Brønderslev-området, 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 Brønderslev-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 godt 50 meter sandsten, der er beliggende mere end 1335 meter under terræn (Hjuler et al. 2014). Sandstenene indgår i Gassum 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 Brønderslev-lokaliteten, og som udgør et input til efterfølgende økonomiske beregninger mm., er samlet i Tabel 3.1 i afsnit 3. Disse data hidrører fra GEUS' tidligere afrapportering af de geologiske forhold ved lokaliteten (Hjuler et al. 2014) og vurderes til at udgøre det bedste input til de efterfølgende økonomiske beregninger. I afsnit 3 evalueres det geotermiske

potentiale endvidere, og der gives anbefalinger til eventuelle supplerende undersøgelser. I de efterfølgende afsnit dokumenteres datagrundlaget, og med henvisning til Hjuler et al. 2014 opsummeres det, 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 sydlige del af Brønderslev.

2. Geologisk baggrund

Brønderslev er beliggende i Sorgenfrei–Tornquist Zonen, som sammen med Skagerrak–Kattegat Platformen udgør den Fennoskandiske Randzone og overgangen fra det Danske Bassin til det højtliggende grundfjeld i det Baltiske Skjold (Figur 2). Det Danske Bassin 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.

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. Forkastningsbettinget 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 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.

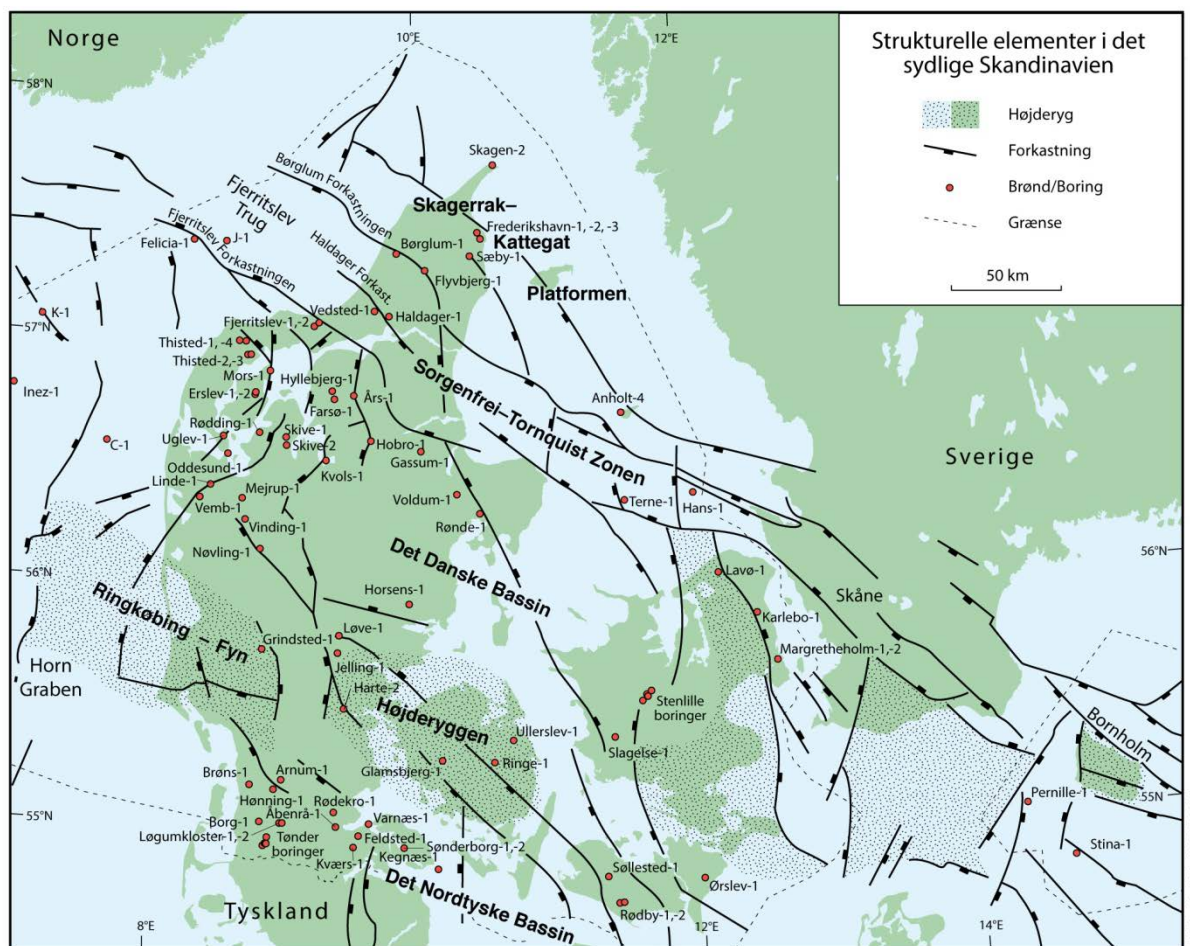
Brønderslev er beliggende i Fjerritslev Truget, som udgør et strukturelt delelement i Sorgenfrei–Tornquist Zonen (Figur 2). I Brønderslev-området er Øvre Perm – Kvartær lagserien 4,5–5,0 km tyk (Vejbæk & Britze 1994). I området vurderes potentielle geotermiske sandstensreservoirer at kunne være til stede i den Nedre – Øvre Triassiske Skagerrak Formation, den Øvre Triassiske – Nedre Jurassiske Gassum Formation, den Mellem Jurassiske Haldager Sand Formation samt 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.

Gassum Formationen vurderes til at udgøre det primære mål for geotermisk indvinding ved prognoselokaliteten, da denne er beliggende i større dybde end Haldager Sand og Frederikshavn formationerne uden at dette vurderes at ødelægge reservoiregenskaberne. På grund af den større dybde vil der således kunne indvindes varmere vand fra Gassum Formationen end fra Haldager Sand og Frederikshavn formationerne. Skagerrak Formationen ligger dybest af de fire formationer, men dens reservoiregenskaber vurderes til at være knap så gode som for Gassum Formationen og desuden mere usikre (Hjuler et al. 2014). Generelt er kendskabet til Gassum Formationen endvidere væsentlig større end kendskabet til de øvrige formationer. Gassum Formationen udgør således det bedst kendte sandstensreservoir i Danmark og udnyttes til geotermisk indvinding i Thisted og Sønderborg samt til gaslagring ved Stenlille. Fokus er derfor i det følgende på Gassum Formationen i vurderingen af det geotermiske potentiale ved prognoselokaliteten i den sydlige del af Brønderslev.

Gassum 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 og langs dens flanker. Endvidere kan formationen stedvis mangle på grund af lokal hævnning og erosion relateret til saltbevægelse i undergrunden.

Gassum Formationen domineres af fin- til mellemkornede, stedvis grovkornede, lysegrå sandsten, der veksler med mørkere-farvede ler- 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 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 inklusive det Danske Bassin, Sorgenfri-Tornquist Zonen, Skagerrak-Kattegat Platformen, Ringkøbing-Fyn Højderyggen og den nordligste del af det Nordtyske Bassin. Modificeret figur fra Nielsen (2003).

3. Resultater for Brønderslev-lokaliteten

De geologiske data for Gassum Formationen ved Brønderslev-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 at være til stede ca. 1327–1445 meter under havniveau (m.u.h.) og dermed i en dybde, der er egnet til dyb geotermisk indvinding. Dette afspejler sig i temperaturen, der vurderes til at være ca. 46 °C i midten af formationen. De øvrige parameterværdier vurderes ligeledes positive med hensyn til det geotermiske potentiale. Reservoirtransmissiviteten er et udtryk for reservoirsandets geotermiske ydeevne og er dermed en vigtig parameter. Denne bør være større end 10 Darcy-meter (Mathiesen et al. 2013*), og er ved prognoselokaliteten vurderet til ca. 40 Darcy-meter. Usikkerheden, der knytter sig til estimeringen af værdien, udelukker dog ikke transmissivitetsværdier på under 10 Darcy-meter (Tabel 3.1). Transmissiviteten er beregnet ud fra de log-bestemte porøsiteter, men kun zoner med reservoirkvalitet 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 lerindhold (<30 %).

Seismiske data viser, at der forekommer en del større nordvest–sydøst orienterede forkastninger eller forkastningszoner i Brønderslev-området, herunder Børglum Forkastningen, der ca. 10 km nordøst for Brønderslev by adskiller Fjerritslev Truget fra Skagerrak–Kattegat Platformen (Figur 2). Ligeledes forekommer der nogle dybtliggende forkastninger i en ca. 8 km bred zone sydvest for Brønderslev. Kvaliteten og dækningen af de tilgængelige seismiske data levner ikke mulighed for at identificere mindre forkastninger. Det kan derfor ikke udelukkes, at forkastninger associeret til de store forkastninger opsplitter Gassum Formationen ved prognoselokaliteten. Hvis der er forkastninger til stede, og disse ikke kortlægges, er der risiko for, at eventuelt fremtidige 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, vurderes Fjerritslev Formationen til at være omkring 140 meter tyk med toppen liggende ca. 1087 m.u.h. Kridt og Danien lagseriens kalkaflejringer vurderes til at være ca. 500 meter tykke og beliggende ca. 70–570 m.u.h.

**I Mathiesen et al. 2013 angives det, baseret på foreløbige kriterier, at reservoirs 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.

Brønderslev-lokaliteten			
UTMz32 X: 557.431 m; Y: 6.346.693 m Terrænkote: ca. 10 meter over havniveau (m.o.h.)			
Gassum Formationen	Estimeret værdi	Vurderet usikkerhed ¹	Usikkerhedsinterval ²
			[MinCase - MaxCase]
Makro reservoirparametre			
Dybde til top af formation [m.u.h.]	1327	25 ³	995–1659 ³
Tykkelse af formation [m]	118	40 ³	71–165 ³
Andel af sandsten i formationen			
Tykkelse af Gross sand [m]	77	20 ³	62–92 ³
Tykkelse af Potentielt reservoirsand ⁴ [m]	53	20 ³	42–64 ³
Potentielt reservoirsand/formation ⁵	0,45	20 ³	0,36–0,54 ³
Potentielt reservoirsand/Gross sand ⁶	0,69	20 ³	0,55–0,83 ³
Vandlevende egenskaber (reservoirsand)			
Porøsitet [%]	24	15 ³	20–28 ³
Gas-permeabilitet [mD]	609	5 ⁷	122–3045 ⁷
Reservoir-permeabilitet ⁸ [mD]	762	5 ⁷	152–3810 ⁷
Reservoir-transmissivitet (Kh) ⁹ [Dm]	40	6 ⁷	7–240 ⁷
Temperatur			
Temperatur ¹⁰ [°C]	46	10 ³	41–51 ³
Tekstur og cementering (sandsten)		Vurdering	
Kornstørrelse/sortering/afrundingsgrad	Fin til grov kornstørrelse; ringe til velsorterede; kantede til velafrundede korn		
Diagenese/cementering	Antageligt kun svagt cementeret		
Andre betydende parametre		Vurdering	
Salinitet	Kloridkoncentrationen er væsentlig under mætningspunktet for NaCl		
Sedimentologisk kontinuitet	Stor		
Strukturel kontinuitet	Mellem; strukturelt komplekst område, men dog forholdsvis stor kontinuitet i nærområdet til prognoselokaliteten		

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

Mængden og kvaliteten af seismiske data indsamlet omkring prognoselokaliteten er begrænset. Der bør derfor laves en seismisk dataindsamling, der muliggør en kortlægning af eventuelle forkastninger omkring prognoselokaliteten, og som kan anvendes til at bestemme de mest optimale placeringer af geotermi-brøndene. Endvidere vil dybden til Gassum Formationen og dens tykkelse herved kunne fastlægges mere præcist og dermed indirekte også flere af reservoirværdierne, herunder transmissiviteten og temperaturen. Den seismiske linjeføring bør lægges således, at den knytter prognoselokaliteten til Børghlum-1 brønden og evt. Flyvbjerg-1 brønden, samt at den omkring prognoselokaliteten muliggør en rumlig kortlægning af eventuelle lokale forkastninger, der gennemskærer Gassum Formationen. Det vurderes, at der skal indsamles i størrelsesordenen af 50 km ny seismik.

Under udførelsen af en eventuelt efterfølgende efterforskningsboring bør det overvejes undervejs at indsamle information om reservoirgenskaberne for den knap så dybtliggende Haldager Sand Formation samt eventuelt at bore videre til den dybereliggende Skagerrak Formation. Sandstensintervaller i disse formationer kan potentielt udgøre alternative geotermisk reservoirer til Gassum Formationen, hvis de indsamlede brøndata viser, at Gassum Formationen ikke egner sig til geotermisk indvinding.

4. Datagrundlag

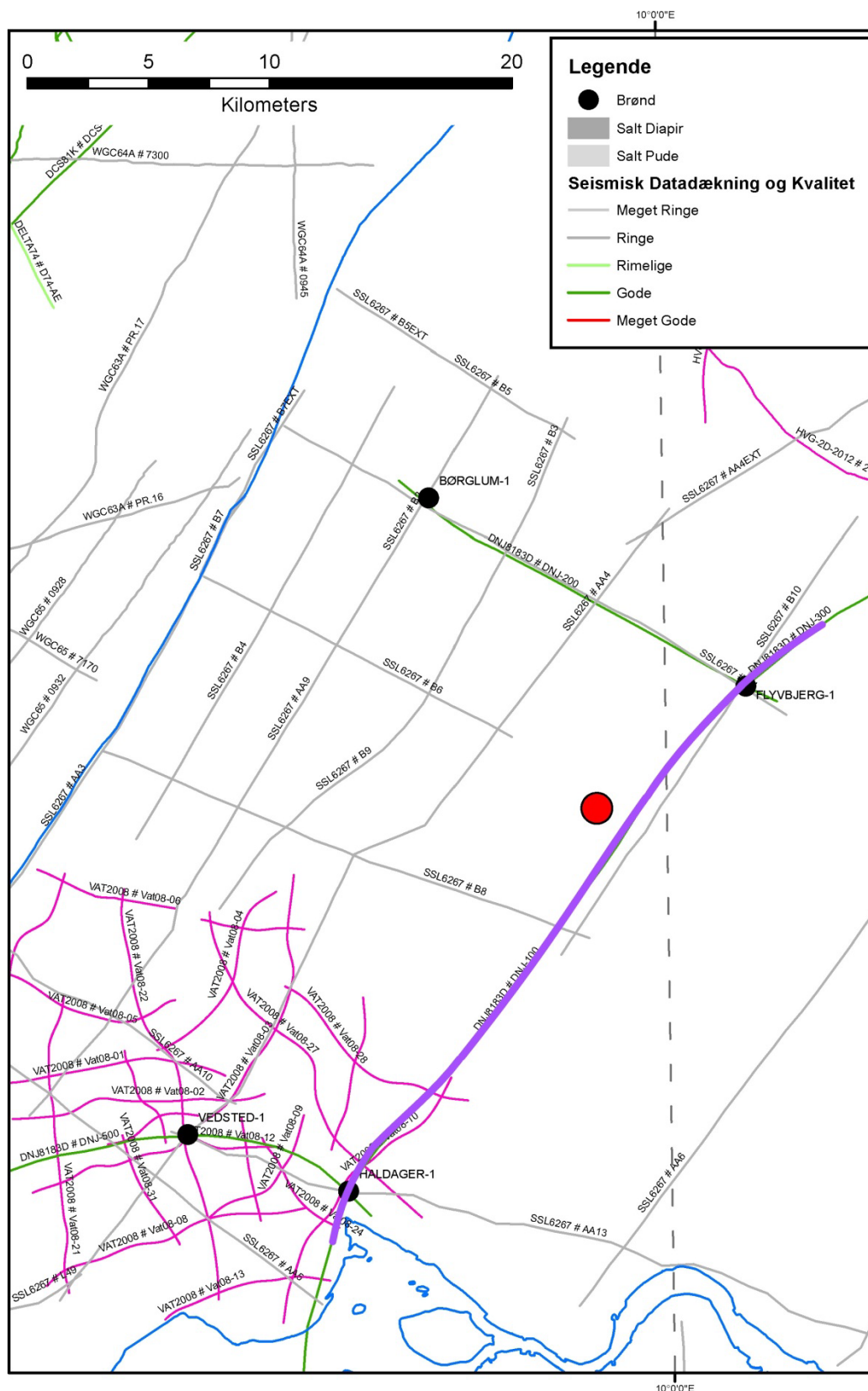
I Figur 3 er den tilgængelige database i Brønderslev-området og i regionen vist i form af placeringen af brønde samt placering og kvalitet af seismiske linjer.

De nærmeste dybe brønde er Flyvbjerg-1, Børglum-1, Haldager-1 og Vedsted-1, der er placeret henholdsvis ca. 8, 15, 19 og 22 km fra prognoselokaliteten (Figur 2 og 3). Haldager-1 når ikke ned i Gassum Formationen, og formationen er kun delvis gennemboret i Børglum-1. Det er endvidere kun i Børglum-1 og Vedsted-1, at der blev indsamlet logdata, som muliggør en vurdering af formationens reservoirkvalitet; der forefindes dog ingen standard porøsitslog fra Børglum-1 og Vedsted-1, og i stedet er porøsiteten estimeret ud fra en modstandslog, der er kalibreret til kerneporøsitetsmålinger. Overordnet set vurderes brønddækningen og kvaliteten af brønddata som værende rimelig i vurderingen af lokaliteten. I Tabel 4.1 fremgår dybdeinterval og tykkelse af Gassum Formationen for de nævnte brønde, hvori Gassum Formationen forekommer. Det fremgår af tabellen, at i Flyvbjerg-1 og Vedsted-1 forekommer Gassum Formationen i flere dybdeintervaller (de mellemliggende intervaller udgøres af finkornede sedimenter tilhørende Fjerritslev Formationen). Endvidere er dybdeinterval og tykkelse vist for den lerstens-dominerede Fjerritslev Formation samt for Kridt lagseriens kalkaflejringer, som udgør "dæklag" for Gassum Formationen. Dybde og tykkelse af disse dæklag 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.

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. Den seismiske datadækning omkring prognoselokaliteten vurderes som ringe til rimelig; i det væsentligste begrænset til en enkelt sydvest–nordøst gående seismisk linje af rimelig kvalitet, som passerer øst om prognoselokaliteten i en afstand af ca. 1,5 km.

Tabel 4.1: De enkelte brøndes omtrentlige afstand til prognoselokaliteten er angivet i parentes under brøndnavnet. Brøndenenes placering fremgår endvidere på oversigtskortene i Figur 2 og 3. Tykkelse er i meter, og dybdeinterval er i meter under havniveau (data fra Nielsen & Japsen 1991).

		Flyvbjerg-1 (8 km)	Børglum-1 (15 km)	Vedsted-1 (22 km)
Kalk Gruppen	Dybdeinterval (m.u.h.)	101–476	96–450	35–455
	Tykkelse (m)	375	354	420
Fjerritslev Fm	Dybdeinterval (m.u.h.)	997–1261	1053–1349	1219–1893
	Tykkelse (m)	264	296	674
Gassum Fm	Dybdeinterval (m.u.h.)	1261–1283	1349–1504	1744–1794
		1301–1457		1813–1818 1893–2032
	Tykkelse (m)	178	>156	194



Figur 3: Placering af prognoselokaltet (rød cirkel) og nærmeste brønde samt placering og kvalitet af seismiske linjer i regionen. Den del af de seismiske linjer DNJ-100 og DNJ-300, 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 for estimeringen af de geologiske nøgledata i Tabel 3.1 og delvis hvilke betragtninger og antagelser, der ligger bag dem. For en mere detaljeret gennemgang af de bagvedliggende beregninger og antagelser henvises der til Hjuler et al. 2014.

5.1 Udbredelse og kontinuitet af formationer og interne reservoirer

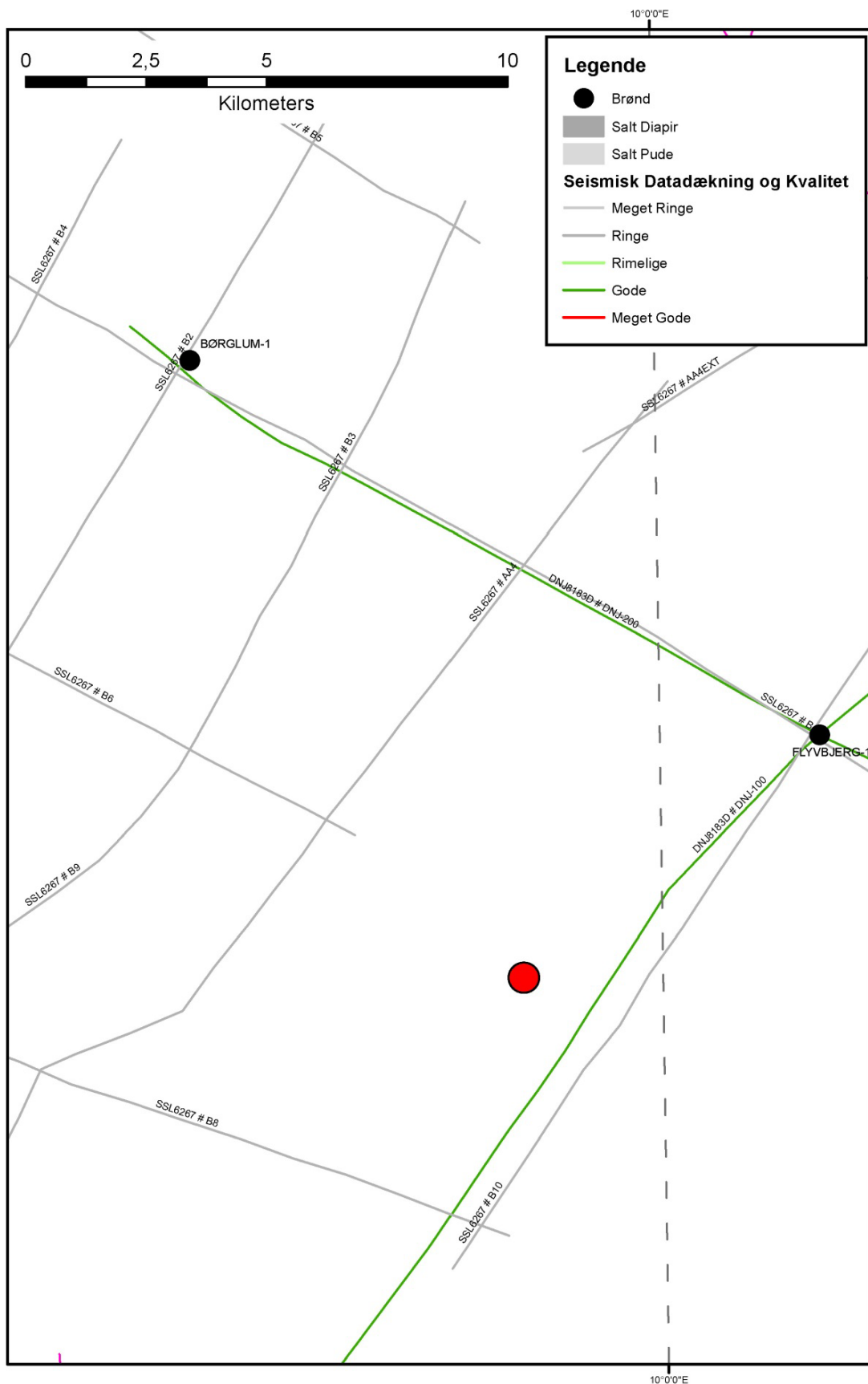
5.1.1 Seismisk tolkning og kortlægning

Dybder og tykkelser af udvalgte lagserier i undergrunden ved prognoselokaliteten ses i Tabel 5.1. Gassum Formationens top vurderes at være til stede ca. 1327 m.u.h. ved prognoselokaliteten (Hjuler et al. 2014) med en vurderet usikkerhed på $\pm 25\%$. Tykkelsen af formationen vurderes til at være 118 meter med en usikkerhed på $\pm 40\%$.

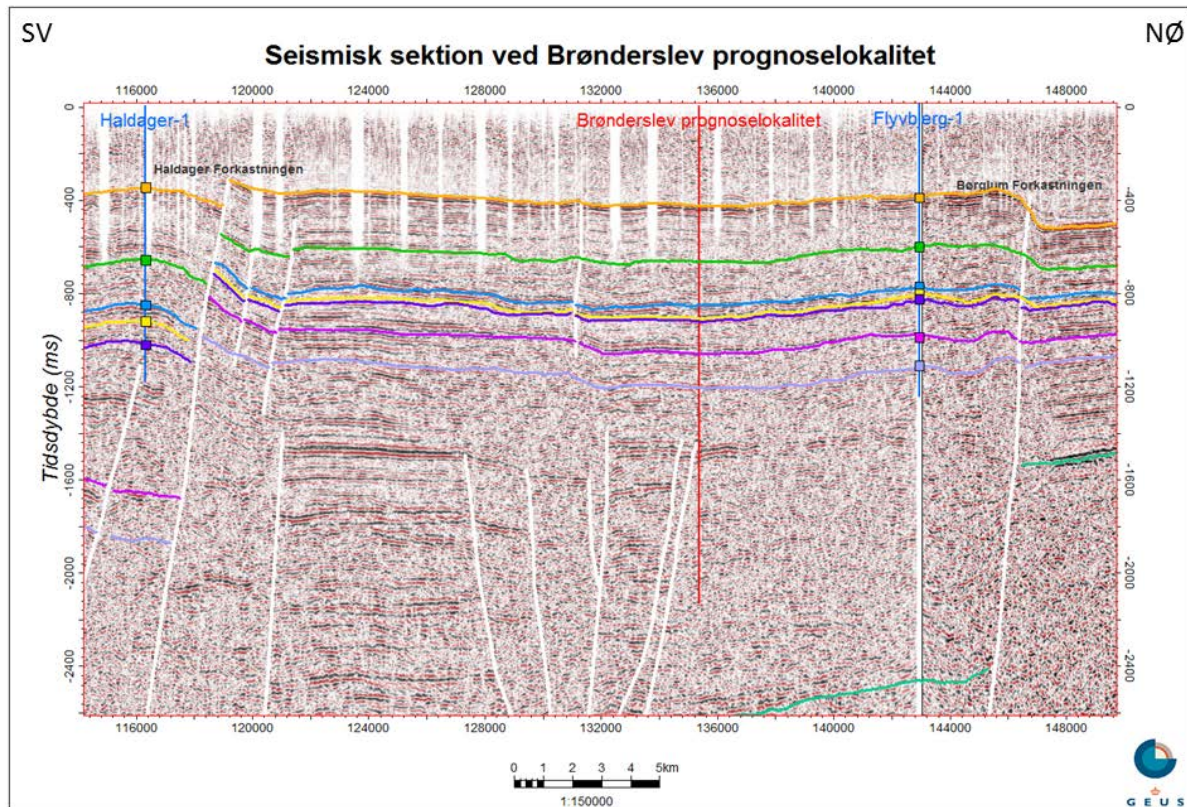
De seismiske linjer DNJ-100 og DNJ-300 (Figur 3 og 4) er anvendt til at fremstille et omtrent sydvest–nordøst gående seismisk profil, der passerer øst om prognoselokaliteten i en afstand af ca. 1,5 km. Profilet er vist med tolkede seismiske horisonter i Figur 5. På det seismiske profil fremstår Gassum Formationen forholdsvis uforstyrret ved prognoselokaliteten, men det kan ikke udelukkes at nogle dybereliggende markante forkastninger, der ses i en ca. 8 km bred zone lige syd for prognoselokaliteten, også påvirker Gassum Formationen. Ca. 10 km nordøst for Brønderslev findes endvidere den nordvest–sydøst orienterede Børglum forkastning, der adskiller Fjerritslev Truget fra Skagerrak–Kattegat Platformen, og ca. 20 km mod sydvest findes den ligeledes nordvest–sydøst orienterede Haldager Forkastning (Figur 2 og 5). Kvaliteten og dækningen af de tilgængelige seismiske data levner ikke mulighed for at identificere mindre forkastninger. Det kan derfor ikke udelukkes, at forkastninger, associeret til de store forkastninger, opsplitter Gassum Formationen ved prognoselokaliteten.

Tabel 5.1: *Dybdeintervaller og tykkelser af udvalgte lagserier ved prognoselokaliteten, som er estimeret på baggrund af seismisk kortlægning.*

Prognoselokalitet	Dybdeinterval (m.u.h.)	Tykkelse (m)
Danien kalksten og Kalk Gruppen	70–570	500
Frederikshavn Fm	768–979	211
Haldager Sand Fm	1042–1108	66
Fjerritslev Fm	1087–1387	140
Gassum Fm	1327–1445	118
Skagerrak Fm	1445–?	?



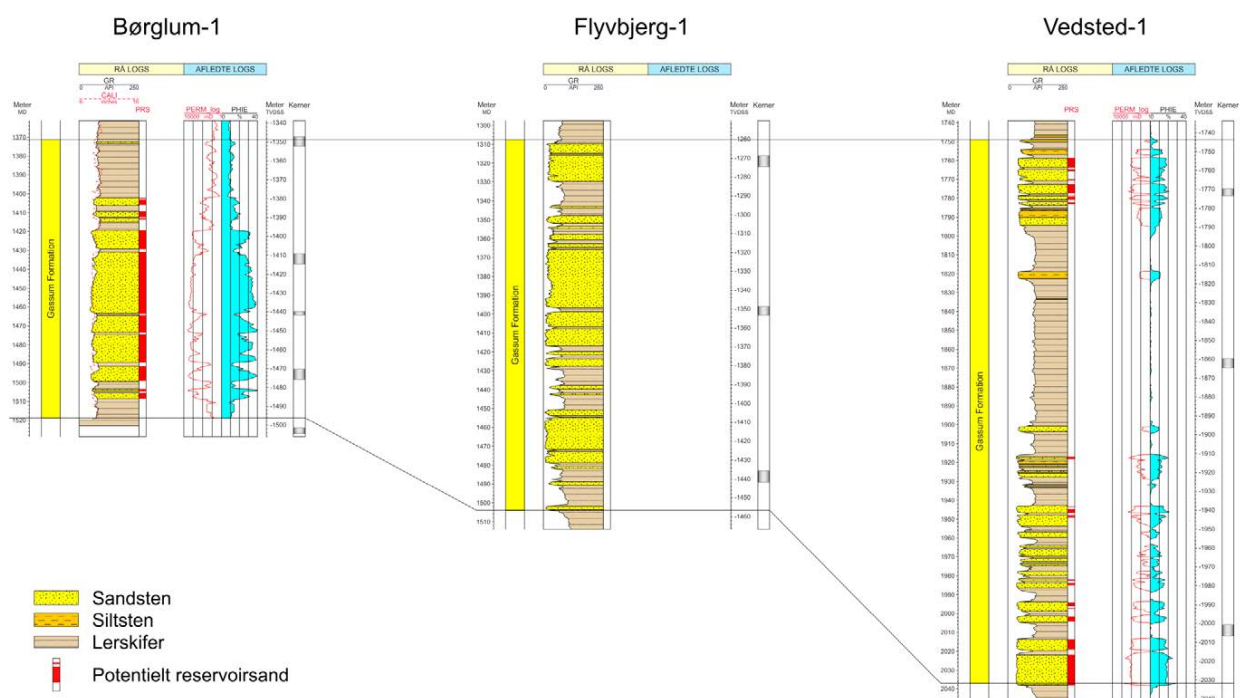
Figur 4: Indsamlede seismiske linjer omkring prognoselokaliteten (rød cirkel). En del af de seismiske linjer DNJ-100 og DNJ-300 (markeret på Figur 3) er anvendt til at fremstille et seismisk profil med tolkede seismiske horisonter i Figur 5.



Figur 5: Omtrent sydvest–nordøst orienteret seismisk profil baseret på de seismiske linjer DNJ-100 og DNJ-300, der passerer øst om prognoselokaliteten i en afstand af ca. 1,5 km (Figur 3 og 4). Prognoselokaliteten er projiceret vinkelret ind på profilet og er markeret med en rød, lodret streg. Endvidere er Flyvbjerg-1 og Haldager-1, som de seismiske linjer passerer forbi i en afstand på under 50 m, projiceret vinkelret ind på profilet. Omkring prognoselokaliteten fremstår Gassum Formationen forholdsvis uforstyrret, men i en ca. 8 km bred zone lige syd for lokaliteten ses nogle dybereliggende markante forkastninger, som det ikke kan udelukkes også påvirker formationen (forkastninger er angivet som stejle hvide streger). Dybde er angivet som seismisk to-vejs-tid i millisekunder. De vigtigste tolkede horisonter på figuren er oppefra og ned: Basis af Kalkgruppen (orange), Top Frederikshavn Fm (grøn), Top Børglum Fm (blå), Top Haldager Sand Fm (gul), Top Fjerritslev Fm (lilla), Top Gassum Fm (lyserød), Top Skagerrak Fm (lyslilla) og Top Pre-Zechstein (turkisgrøn). Omtrentlig to-vejs-tid til laggrænser i Flyvbjerg-1 og Haldager-1 borerne, som svarer til de tolkede horisonter, er vist som kvadratiske kasser.

5.1.2 Boringsdata

Tabel 5.2 giver en oversigt over tykkelsen af Gassum Formationen i de nærmeste brønde. Endvidere er der vist hvor mange meter sandsten (Gross sand), og heraf meter sandsten med gode reservoiregenskaber (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.



Figur 6: Sammenligning af Gassum Formationen i Børglum-1, Flyvbjerg-1 og Vedsted-1, som er de nærmeste brønde til prognoselokaliteten, hvori formationen er påvist (placering af brønde ses i Figur 3). Formationen er i brøndene vist med dens vertikale tykkelser, og der er således korrigeret for boringernes eventuelle afbøjning. Det er ikke muligt at tolke Potentielt reservoirsand for Flyvbjerg-1. MD: Målt dybde fra referencepunkt på boreplatform (venstre dybdeskala), TVDSS: Vertikale dybde under havniveau (højre dybdeskala).

5.2 Reservoirkvalitet

I vurderingen af Gassum Formationens reservoirregenskaber ved prognoselokaliteten er der taget udgangspunkt i data fra Flyvbjerg-1, Børglum-1 og Vedsted-1 (Hjuler et al. 2014). Dybdeintervallet for Gassum Formationen i disse brønde ses i Tabel 5.3, hvor det også fremgår, at der fra alle borer er udtaget kerner af formationen.

Selve vurderingen af formationens lithologi og reservoirkvalitet ved prognoselokaliteten bygger på en tolkning af borehulslogs kombineret med eksisterende beskrivelser af kerner og borespåner fra Børglum-1, Flyvbjerg-1 og Vedsted-1 borerne (DAPCO & DGU 1951, DAPCO 1958a, DAPCO 1958b). Kerneintervallerne i borerne varierer i længde fra 3 til 8 meter (de kernede intervaller fremgår i Figur 6–8), og sandsten fra kernerne indgår i reservoirvalueringen. De optagne og tolkede logs i Børglum-1, Flyvbjerg-1 og Vedsted-1 brøndene er nærmere beskrevet i Tabel 5.4.

I estimeringen af reservoirværdierne for Gassum Formationen ved prognoselokaliteten er data fra Flyvbjerg-1, Børglum-1 og Vedsted-1 vægtet forskelligt afhængig af deres relevans for prognoselokaliteten (Hjuler et al. 2014). Det er dog kun i Børglum-1 og Vedsted-1, at der blev indsamlet logdata, som muliggør en mere detaljeret vurdering af formationens reservoirkvalitet. De tolkede reservoirværdier for Gassum Formationen i disse brønde er samlet i henholdsvis Tabel 5.5 og 5.6. Da der ikke forefindes nogen standard porøsitslog fra hverken Børglum-1 og Vedsted-1, er porøsiteten af sandstenene i disse brønde i stedet vurderet ud fra en modstandslog, der er kalibreret til kerneporøsitsmålinger. Usikkerheden på de angivne estimater bygger på en generel og erfaringsmæssig vurdering af tolknings-usikkerheden ved de forskellige typer af data (borehulslogs, porøsitet-permeabilitetssammenhænge 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 Børglum-1 og Vedsted-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 Gassum Formationen i Flyvbjerg-1 og Børglum-1 og Vedsted-1 med tilhørende kommentarer om tilgængeligt kernemateriale fra formationen.*

Brønd	Dybdeinterval [m MD]	Kerner [m MD]	Sidevægskerner [m MD]
Flyvbjerg-1	1308–1504	1 3 intervaller	Ingen
Børglum-1	1371–1518	1 4 intervaller	Ingen
Vedsted-1	1749–2037	1 3 intervaller	1 4 niveauer

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 Gassum Formationen i Børglum-1 brønden (for den gennemborede del af formationen).*

Børglum-1				
Gassum Formationen	Estimeret værdi	Vurderet usikkerhed ¹	Usikkerhedsinterval ²	
			[MinCase - MaxCase]	
Makro reservoirparametre				
Dybde til top af formation [m.u.h.]	1349	1 ³	1336–1362 ³	
Tykkelse af formation [m]	156	1 ³	154–158 ³	
Andel af sandsten i formationen				
Tykkelse af Gross sand [m]	86	5 ³	82–90 ³	
Tykkelse af Potentielt reservoirsand ⁴ [m]	82	5 ³	78–86 ³	
Potentielt reservoirsand/formation ⁵	0,53	5 ³	0,50–0,55 ³	
Potentielt reservoirsand/Gross sand ⁶	0,95	5 ³	0,91–1,00 ³	
Vandlede egenskaber (reservoirsand)				
Porøsitet [%]	29	7 ³	27–31 ³	
Gas-permeabilitet [mD]	1230	5 ⁷	246–6150 ⁷	
Reservoir-permeabilitet ⁸ [mD]	1538	5 ⁷	308–7690 ⁷	
Reservoir-transmissivitet (Kh) ⁹ [Dm]	127	5 ⁷	25–636 ⁷	
Tekstur og cementering (sandsten)		Vurdering		
Kornstørrelse/sortering/afrundingsgrad	Hovedsageligt meget fin til medium kornstørrelse, stedvis grov og meget grov; ingen information om sortering og afrundingsgrad			
Diagenese/cementering	Ingen oplysninger om cementeringsgrad bortset fra en angivelse af at sandstenene ikke er kalkcementeret med undtagelse af i enkelte dybdeintervaller			

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.

Tabel 5.6: *Estimerede reservoirværdier for Gassum Formationen i Vedsted-1 brønden.*

Vedsted-1			
Gassum Formationen	Estimeret værdi	Vurderet usikkerhed ¹	Usikkerhedsinterval²
			[MinCase - MaxCase]
Makro reservoirparametre			
Dybde til top af formation [m.u.h.]	1744	1 ³	1727–1761 ³
Tykkelse af formation [m]	194	1 ³	192–196 ³
Andel af sandsten i formationen			
Tykkelse af Gross sand [m]	109	5 ³	104–114 ³
Tykkelse af Potentielt reservoirsand ⁴ [m]	46	5 ³	44–48 ³
Potentielt reservoirsand/formation ⁵	0,24	5 ³	0,23–0,25 ³
Potentielt reservoirsand/Gross sand ⁶	0,42	5 ³	0,40–0,44 ³
Vandlevende egenskaber (reservoirsand)			
Porøsitet [%]	18	7 ³	17–19 ³
Gas-permeabilitet [mD]	110	5 ⁷	22–550 ⁷
Reservoir-permeabilitet ⁸ [mD]	138	5 ⁷	28–668 ⁷
Reservoir-transmissivitet (Kh) ⁹ [Dm]	6	5 ⁷	1–30 ⁷
Tekstur og cementering (sandsten)		Vurdering	
Kornstørrelse/sortering/afrundingsgrad	Hovedsageligt fin til medium kornstørrelse, stedvis grovkornet; ingen information om sortering og afrundingsgrad (bortset fra kantede til subkantede korn i formationens øverste 5 m)		
Diagenese/cementering	Ingen oplysninger bortset fra ler-cementeret i formationens øverste 5 meter		

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.

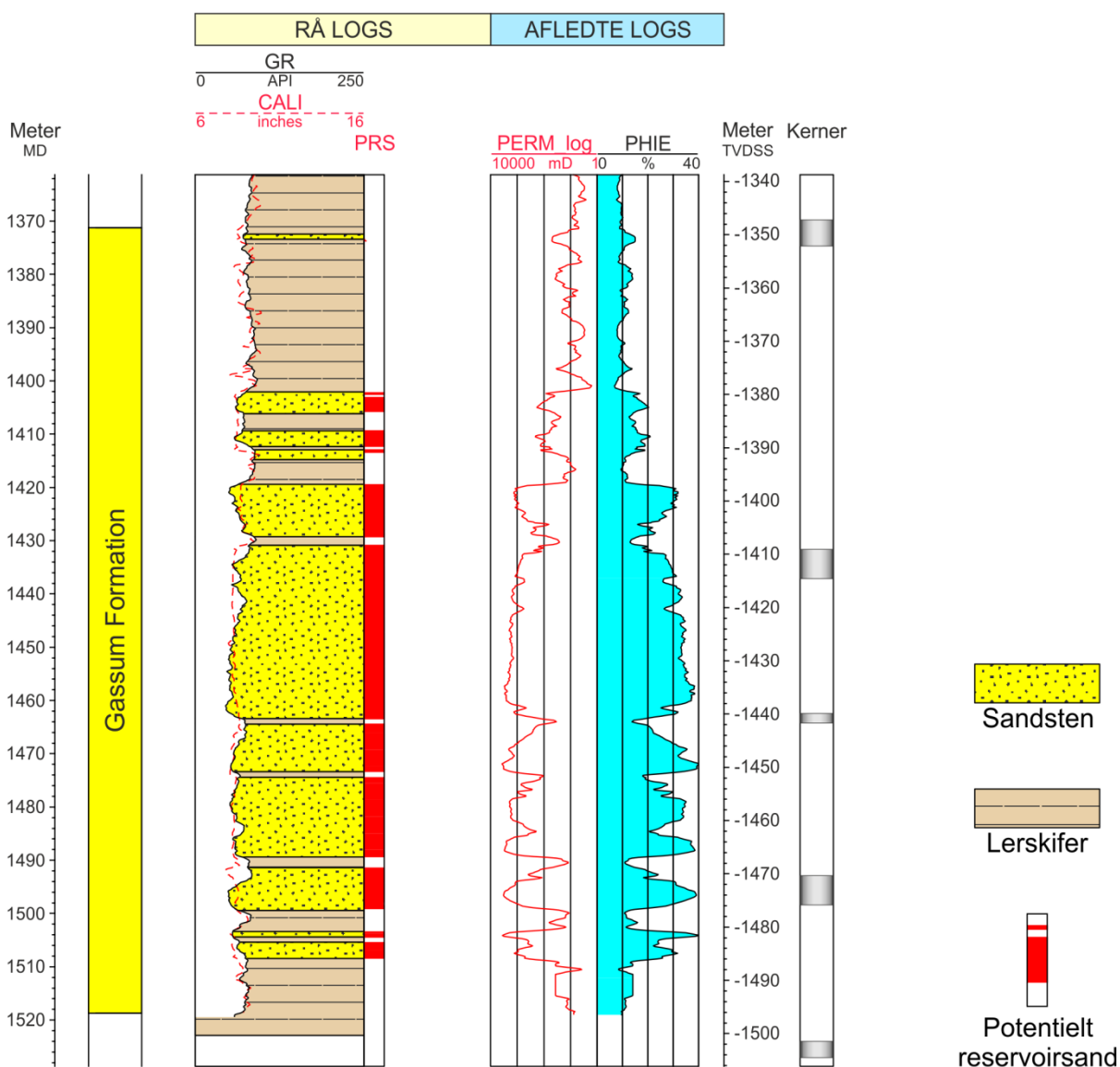
5.2.1 Tolkning af lithologi

På baggrund af logdata og eksisterende beskrivelser af opboret materiale samt udtagne kerner fra Flyvbjerg-1, Børglum-1 og Vedsted-1 borerne 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). Borespåne- og kernebeskrivelserne understøtter log-tolkningen, og desuden fremgår det af beskrivelserne, at

sandstenene i formationen hovedsageligt er fin til medium i kornstørrelse; dog muligvis en anelse grovere i Flyvbjerg-1, hvor sandsten i flere intervaller er angivet som værende medium til grovkornede (DAPCO 1958a, DAPCO 1958b, DAPCO & DGU 1951).

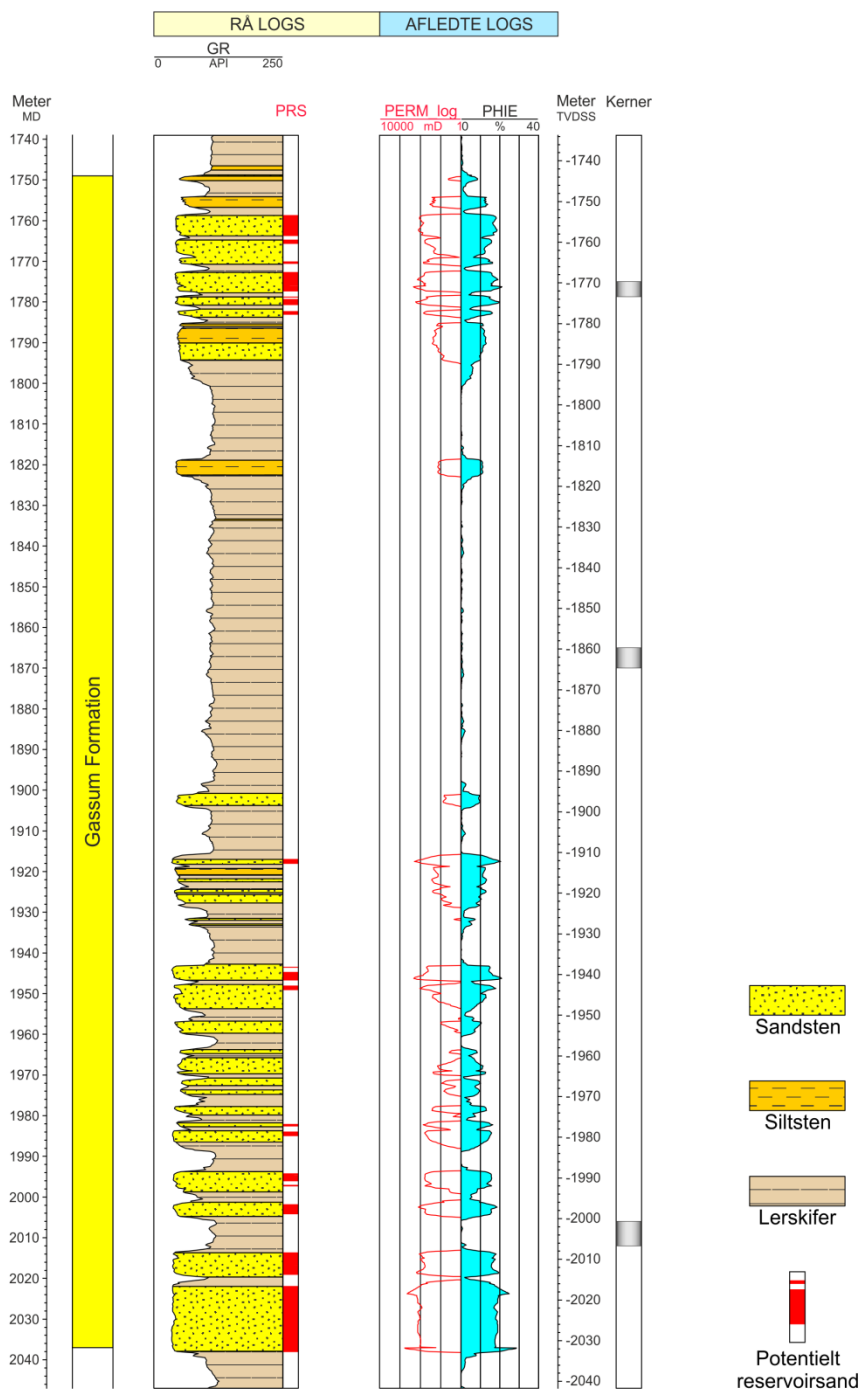
Ved prognoselokaliteten kan sandstenene formodentlig variere i kornstørrelse fra fin til grov. Der foreligger stort set ingen information om sandstenenes sortering, afrundingsgrad og cementering i Børglum-1, Flyvbjerg-1 og Vedsted-1. I Vedsted-1 angives sandskornene som værende subkantede til kantede i de øverste 5 meter af formationen. Ud fra den generelle viden om Gassum Formationen må det antages, at sandstenskornene også kan være afrundede og velafrundede, og at de kan være ringe til velsorterede. I enkelte dybdeintervaller er sandstenene angivet til at være ler-cementerede (Flyvbjerg-1) eller svagt kalkholdige eller kalkholdige (Børglum-1), men i de fleste beskrevne intervaller i Børglum-1 angives det, at sandstenene er kalkfrie. Trods der kun forefindes sporadiske oplysninger efterlader disse et overordnet indtryk af, at sandstenene generelt kun er svagt cementerede.

Børglum-1



Figur 7: Petrofysisk log-tolkning af Gassum Formationen i Børglum-1 inklusiv en tolkning af lithologien. Lithologikolonnen er afgrænset af gamma (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. 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.

Vedsted-1



Figur 8: Petrofysisk log-tolkning af lithologien i Gassum Formationen i Vedsted-1. Lithologikolonnen er afgrænset af gamma (GR) loggen. 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, TVSS: Vertikale dybde under havniveau.

5.2.2 Vurdering af tykkelser, lerindhold og porøsitet

I Flyvbjerg-1, Børglum-1 og Vedsted-1 er Gassum Formationen henholdsvis 178, >156 og 194 meter tyk, hvoraf Gross sand udgør ca. 122 meter i Flyvbjerg-1, ca. 86 meter i den gennemborede del af formationen i Børglum-1 og ca. 109 meter i Vedsted-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. 82 meter i den gennemborede del af Gassum Formationen i Børglum-1 og til ca. 46 meter i Vedsted-1, hvorimod denne og andre reservoirparametre ikke kan beregnes for Flyvbjerg-1 på grund af manglende logdata. Den gennemsnitlige porøsitet af reservoir-sandet er ud fra log-tolkning bestemt til ca. 29 % i Børglum-1 og ca. 18 % i Vedsted-1 (Tabel 5.5 og 5.6). Porøsiteten er i begge borer vurderet ud fra en modstandslog, der er kalibreret til kerneporøsitetsmålinger, hvilket giver anledning til en større usikkerhed på porøsiteten, end hvis porøsiteten f.eks. blev beregnet ud fra en densitets-log.

Tabel 5.7: Responsparametre for gamma (GR) log for Børglum-1, Flyvbjerg-1 og Voldum-1 borerne.

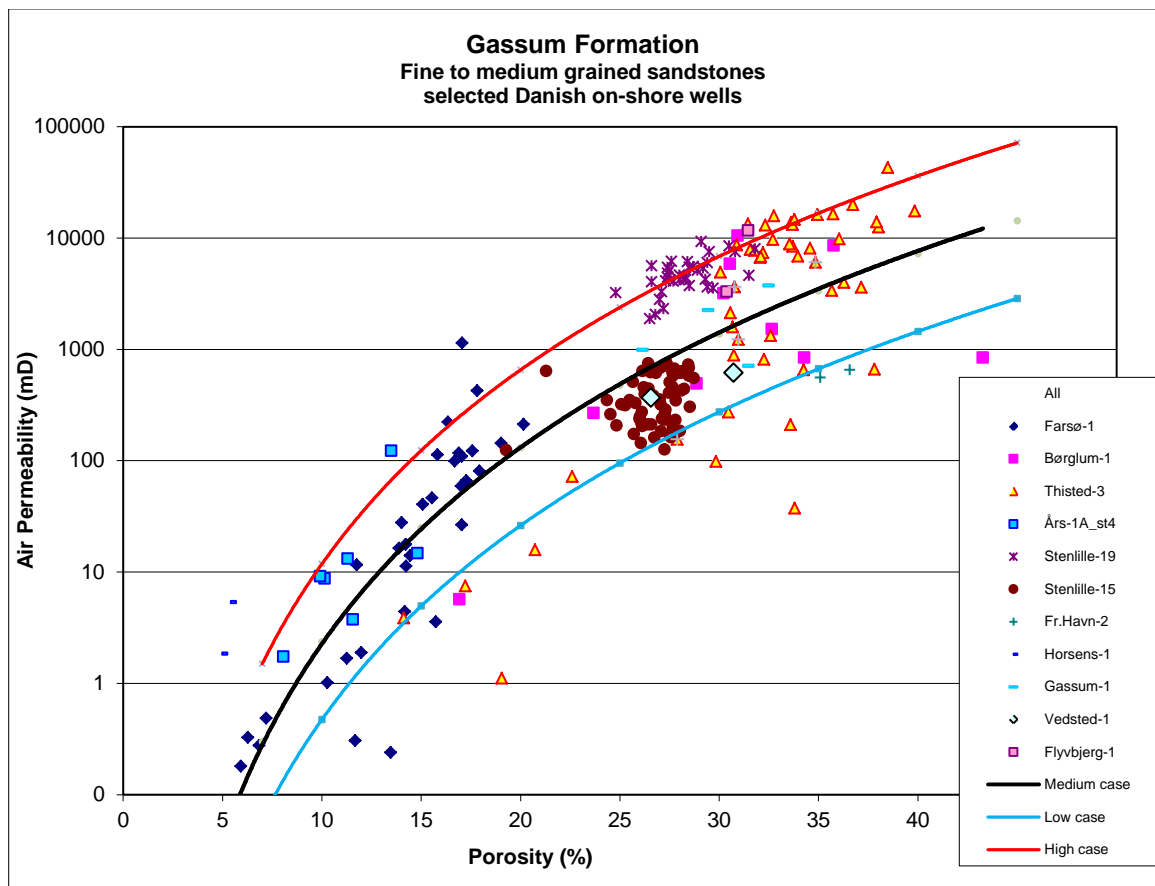
Responsparametre for gamma (GR) log	GR_min (baggrundsstråling)	GR_max (respons for rent ler)
Børglum-1	32	120
Flyvbjerg-1	37	150
Vedsted-1	65	150

5.2.3 Permeabilitet

Permeabiliteten er bestemt på kernemateriale fra Gassum Formationen i Flyvbjerg-1, Børglum-1 og Vedsted-1. Disse målinger indgår i en porøsitet-permeabilitetsrelation, der er baseret på kerneanalyzedata fra en række danske landboringer beliggende i Jylland og på Sjælland (Figur 9). GEUS forventer, at denne landsdækkende korrelation også gælder for Brønderslev-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 førnævnte 'cut-off' værdier er den gennemsnitlige gas-permeabilitet (vægtet gennemsnit) for reservoirsandstenene estimeret til ca. 1230 mD for Børglum-1 og til ca. 110 mD for Vedsted-1. Dette svarer til reservoir-permeabiliteter på omtrent 1538 og

138 mD for henholdsvis Børglum-1 og Vedsted-1. Beregningen af reservoir-permeabiliteten bygger på en opskalering af de laboratorie-bestemte gas-permeabiliteter til reservoirforhold efterfulgt af omregning til væske-permeabilitet. De to brønde (Børglum-1 og Vedsted-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 Gassum Formationen udenfor studieområdet udnyttet.

Specielt kerneanalyse data fra Børglum-1 viser stor spredning, hvilket understreger nødvendigheden af at anvende flere modeller (tendens-linjer), når det gælder en vurdering af permeabilitets-forholdene ved en given lokalitet (se Figur 9).



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").

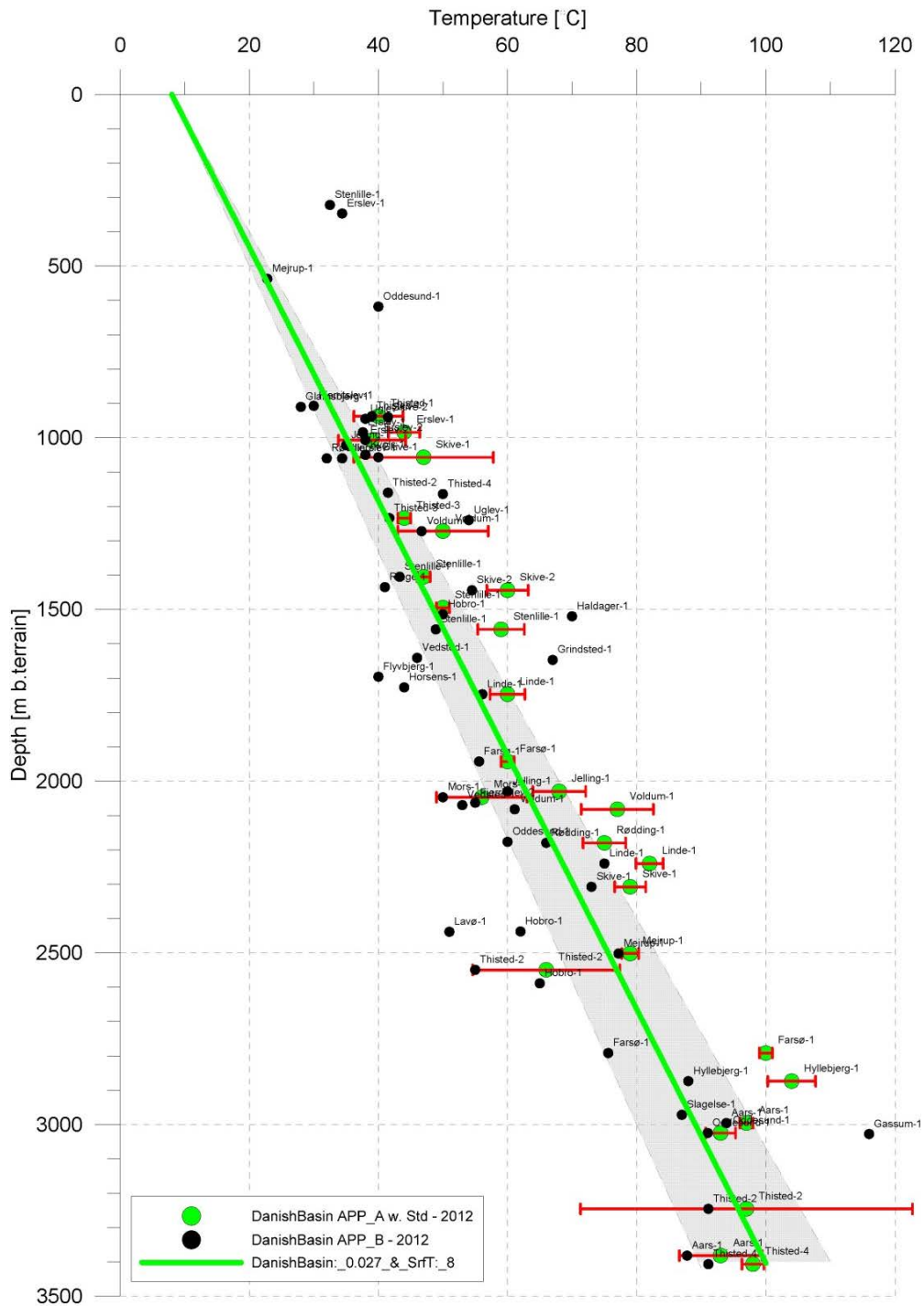
5.2.4 Transmissivitet

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 Børglum-1 vurderet til ca. 127 Darcy-meter, i Vedsted-1 til ca. 6 Darcy-meter og ca. 40 Darcy-meter for prognoselokaliteten. På baggrund af det tilgængelige datamateriale vurderer GEUS, at usikkerheden på den forventede transmissivitet mest hensigtsmæssigt kan beskrives ved en dividere/gange faktor på 6; svarende til at dividere, henholdsvis multiplicere, den estimerede transmissivitet med denne faktor. Faktoren indeholder en samlet usikkerhed knyttet til permeabiliteten og tykkelsen af Potentielt reservoirsand samt til ekstrapolering af boringsdata til prognoselokaliteten.

5.3 Temperatur

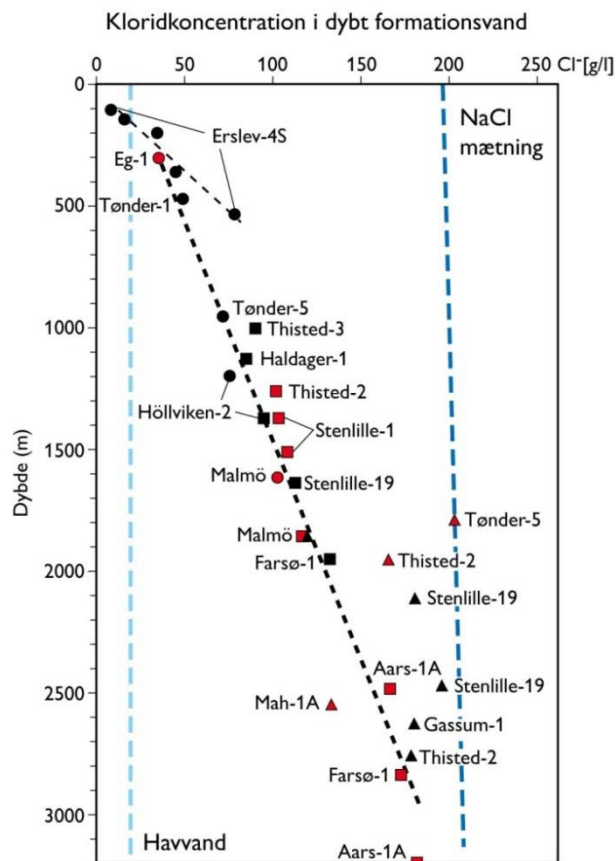
Temperaturen i midten af Gassum Formationen ved prognoselokaliteten er vurderet til ca. $46\text{ °C} \pm 10\%$ ud fra en generel dybde-temperatur relation for det Danske Bassin. Relationen baserer sig på alle relevante temperaturmålinger i dybe borer i bassinet og er givet ved: $\text{Temp.} = 0,027 * \text{dybde} + 8\text{ °C}$ (Figur 10). Ved prognoselokaliteten er dybden i ligningen sat til 1396 meter og er baseret på den estimerede dybde fra havniveau til toppen af formationen (1327 meter; se Tabel 3.1) tillagt terrænkote (10 meter) og estimerede antal meter fra top til centrum af formationen (59 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). Temperaturmålingerne fra Flyvbjerg-1 og Vedsted-1 falder omkring den nedre del af usikkerhedsbåndet.

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 knap 95 g/l i en dybde af 1396 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 202 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. Kloridanalyserne 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

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.

DAPCO 1958a: Flyvbjerg-1, Completion Report.

DAPCO 1958b: Vedsted-1, Completion Report.

DAPCO & DGU 1951: Børglum-1, Completion Report (compiled May 1993).

Hjuler, M.L., Kristensen, L., Mathiesen, A., Bidstrup, T. & Nielsen, L.H. 2014: Evaluation of possible geothermal reservoirs in the Brønderslev area. Danmarks and Grønlands Geologiske Undersøgelse Rapport, 34, 81 pp.

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.

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.