



Ea Energianalyse

COWI



DANSK FJERNVARMES
Geotermiselskab

Landsdækkende screening af geotermi i 28 fjernvarmeområder

Bilag 3: Områderapport for Holstebro



Ea Energianalyse

COWI



DANSK FJERNVARMES
Geotermiselskab

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 geologisk 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

Holstebro - Struer - 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 1/7

1 Holstebro - Struer fjernvarmeområde

1.1 Nuværende forsyningsområde

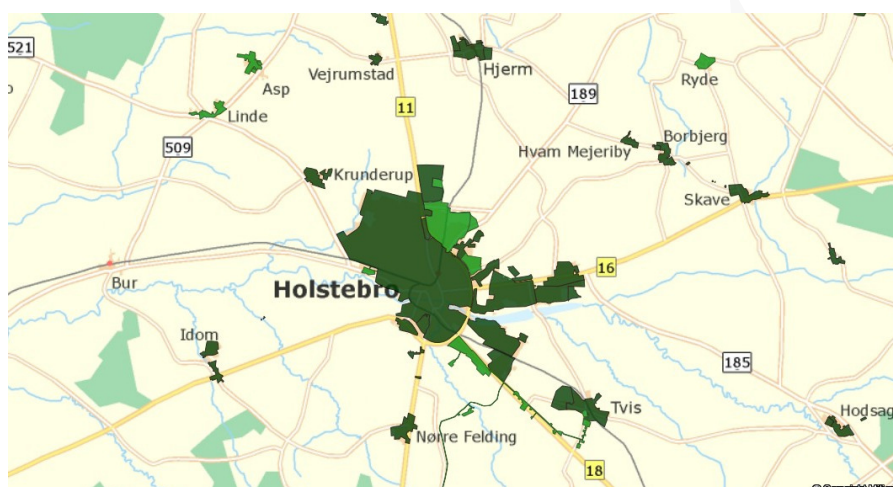
Fjernvarme til byområderne Holstebro og Struer og de mindre byer Tvis, Hjerm, Bremdal, Vejrum og Humlum leveres fra et sammenhængende fjernvarmesystem.

Vestforsyning Varme A/S leverer til Holstebro by og Tvis. Struer Forsyning Fjernvarme A/S leverer til Struer, Hjerm, Bremdal, Vejrum og Humlum.

Vestforsyning Varme A/S er et datterselskab i Vestforsyning A/S, der ejes 100% af Holstebro Kommune.

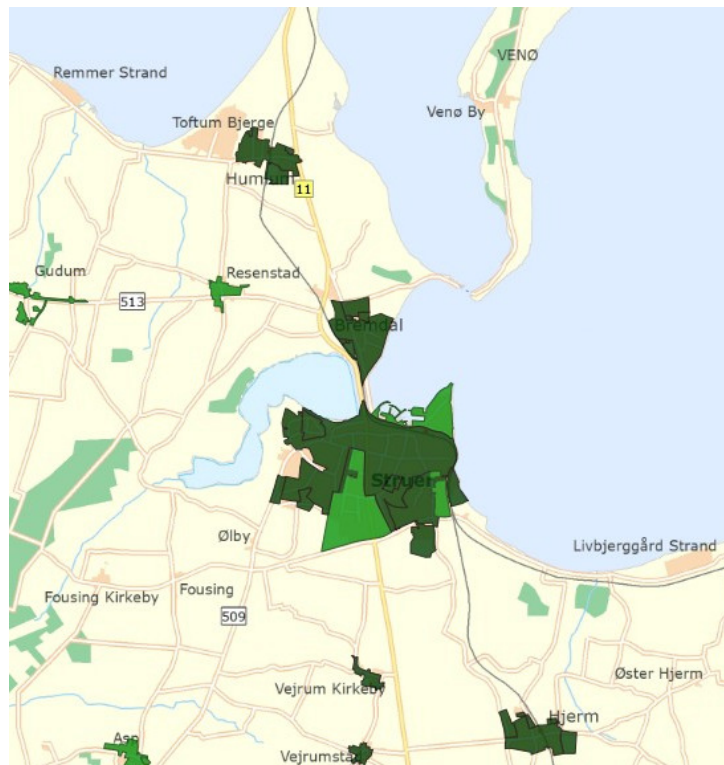
Tilsvarende er Struer Forsyning Fjernvarme et datterselskab i Struer Forsyning Holding A/S, der ejes 100 % af Struer Kommune.

Forsyningsområderne i Holstebro og Tvis fremgår af nedenstående kort



Figur 1 Oversigtskort forsyningsområder Holstebro - Tvis

Forsyningsområderne i Struer og omegnsbyer fremgår af nedenstående kort

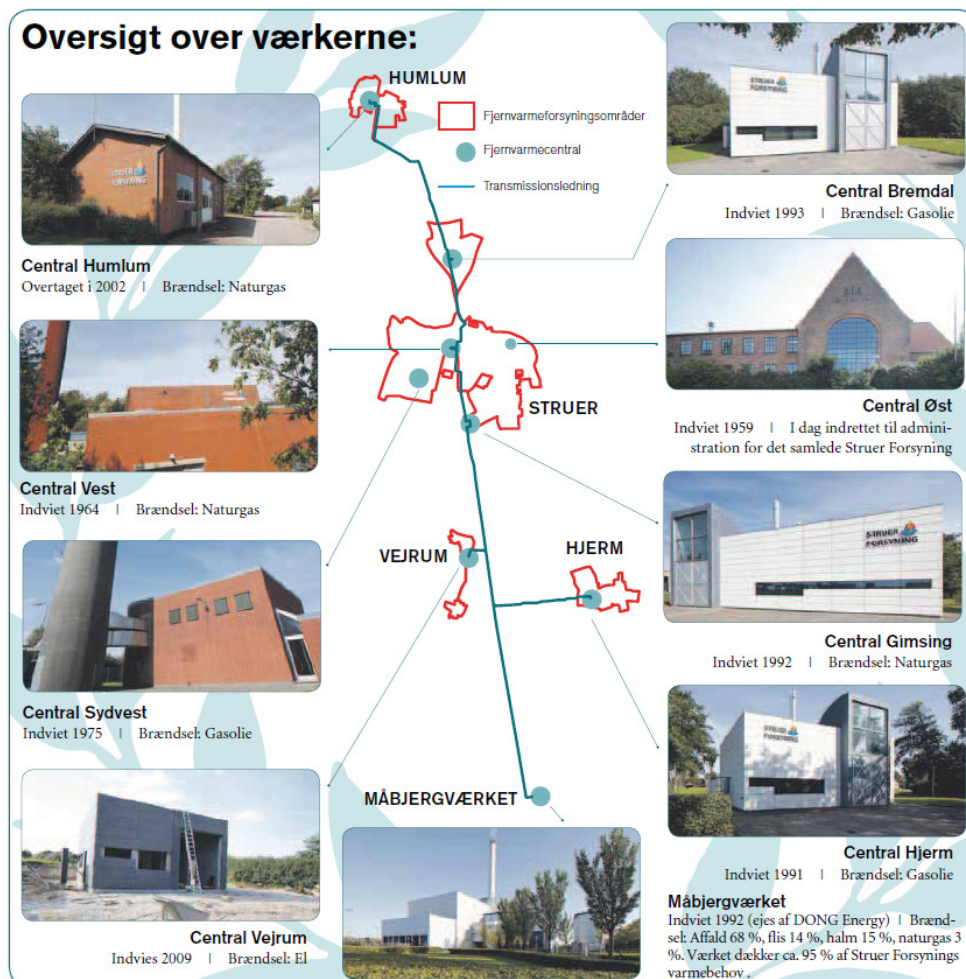


Figur 2 Oversigtskort forsyningsområder Struer, Humlum, Vejrum og Hjern



Figur.3 Vestforsynings varmemforsyningsområde i Holstebro og omegnsbyerne Skave mod øst og Idom mod vest (kortudsnit fra TERMIS)

Strukturen i Struers forsyningsområde fremgår af nedenstående figur.



Figur 4 Oversigt forsyningsstruktur i Struer.

Måbjergværket og Måbjerg BioEnergi leverer langt størsteparten af varmen – ca. 91 % til det samlede forsyningsområde. En række naturgasfyrede spids- og reservelastcentraler leverer 9 % af det samlede varmebehov. Nogle mindre gasoliefyrede centraler indgår også i de 9%.

Måbjergværket blev idriftsat i januar 1993 og producerer el og fjernvarme ved hjælp af afbrænding af halm, flis, affald og spildevandsslam og biogas fra Maabjerg BioEnergy.

Nedenstående tabel viser det samlede varmebehov i Holstebro-Struer området.

Tabel 1 Nuværende og fremtidigt varmegrundlag

Varmegrundlag						
Holstebro-Struer						
MWh/år	2011/2012	2012*	2015**	2025**	2035**	
Eksisterende forbrugsbase Netto varme		431.316	431.316	431.316	431.316	
Distributionstab	0	110.455	110.455	110.455	110.455	
An net		541.771	541.771	541.771	541.771	
TJ/år						
Nettovarme	0	1553	1553	1553	1553	
Distributionstab	0	398	398	398	398	
An net	0	1950	1950	1950	1950	
*Kilde Energiproducenttælling for det samlede system. Reelt ingen tilgængelige tal i årsrapporter mv.						
Der foreligger data for Struer i DF's statistik for 2012:						
Varmesalg 111,2 GWh, nettab, 28,4 GWh og produktion 139,7 GWh						
Energistyrelsens Udbud angiver som gns 5 år 1832 TJ/år samlet an net						
hvoraf varmeløbet fra forbrændingsanlægget udgør 1061 TJ (58%)						
Forbrændingsanlæggets andel vurderes at passe fint med energiproducenttællingen fra 2012						
Da der er usikkerhed omkring nettabet vurderes ENS-tal at være i rimelig overensstemmelse med det opgjorte varmebehov						
** Antaget uændret varmesalg fremadrettet						

Der er oplyst nedenstående temperaturforhold for Holstebro, Struer og transmissionsledningssystemet.

Tabel 2 Temperaturforhold Holstebro

Sommer an net		Vinter an net	
Fremløb	Retur	Fremløb	Retur
Holstebro 2014			
68	42	76	38

Tabel 3 Temperaturforhold Struer

Sommer an net		Vinter an net	
Fremløb	Retur	Fremløb	Retur
Struer 2014			
69	41	75	35

Tabel 4 Temperaturforhold transmissionsledning

Sommer an net		Vinter an net	
Fremløb	Retur	Fremløb	Retur
Transmissionsledning			
79	39	85	39

I henhold til DF's statistik udgør det maksimale effektbehov i Struer Forsyning Fjernvarmes forsyningsområde ca. 45 MW

For Holstebro's vedkommende er det maksimale effektbehov oplyst at udgøre ca. 108 MW.

1.2 Nuværende produktionsstruktur

Nedenstående tabel giver en oversigt over den nuværende varmeproduktionsstruktur i Holstebro og Struer.

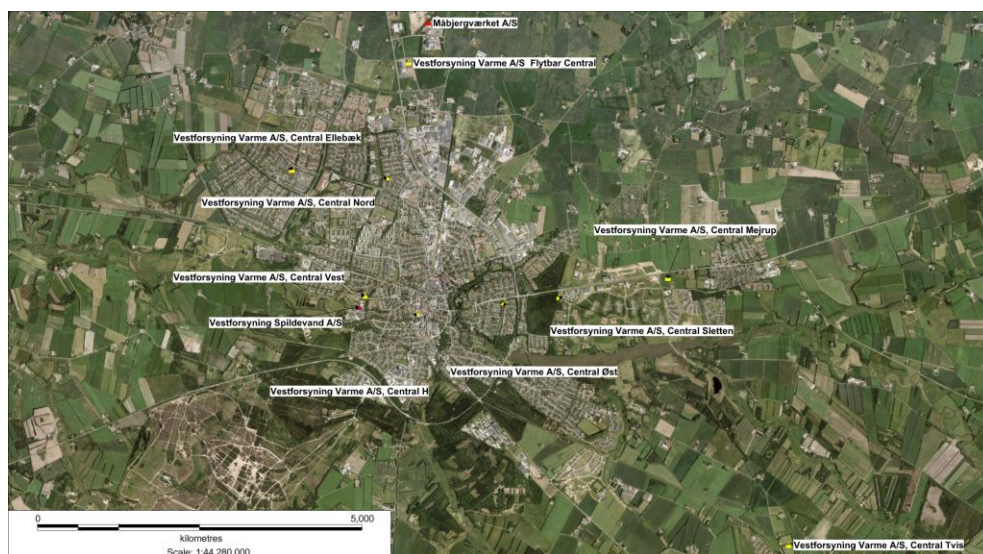
Tabel 5 Varmeproduktionsstruktur 2012 (fra Energistyrelsens energiproducenttælling)

Eksisterende produktionsanlæg - baseret på energiproducenttællingen 2012												Brændselsfordeling					
Anlægsnavn	Anlægstype	Hovedbrændsel	Varmer produktion i 2012 (TJ)	*Brændsels forbrug 2012 (TJ)	Indfyret effekt (MW)	Eleffekt (MW)	Varmer effekt (MW)	Elvirknings grad	**Varmer virknings grad	Etablerings år	Forventet udfasning år	Gasolie	Naturgas	Affald	Biogas	Halm	Træ- og biomasse affald
Holstebro by																	
Vestforsyning Varme A/S, Central H	Kedel	Naturgas	37	40	33	0	33		100%	01-01-1963			40,5				
Vestforsyning Varme A/S, Central Nord	Kedel	Naturgas	6	7	29	0	29		100%	01-01-1967			6,7				
Vestforsyning Varme A/S, Central Ellebæk	Kedel	Naturgas	31	34	23	0	23		100%	01-01-1974			34,2				
Vestforsyning Varme A/S, Central Vest	Kedel	Naturgas	10	11	24	0	24		100%	01-01-1970			10,7				
Vestforsyning Varme A/S, Central Øst	Kedel	Naturgas	40	40	23	0	23		100%	01-01-1962			39,6				
Vestforsyning Varme A/S, Central Sletten	Kedel	Naturgas	2	2	5	0	5		100%	01-04-2001			1,9				
Vestforsyning Varme A/S Flytbar Central	Kedel	Gasolie	1	1	1	0	1		100%			0,5	0				
Måbjergværket A/S	Damp turbine	Affald	1766	2704	131	27	84	21%	65%	01-02-1993			55,2	1661,6	15,0	457,9	514,2
Vestforsyning Spildevand A/S	Forbrændingsmotor	Biogas	6	12	1	0	1	38%	53%	12-09-1993					12,0		
Mejrup																	
Central Mejrup	Kedel	Naturgas	5	5	5	0	5		100%	01-01-1991			4,9				
Tvis by																	
Vestforsyning Varme A/S, Central Tvis	Kedel		0	0	5	0	5		100%								
Humlum by																	
Humlum Varmeværk, Struer Forsyning	Kedel	Naturgas	3	3	5	0	4		95%				3				
Bremdal by																	
Bremdal, Struer Forsyning Fjernvarme A/S	Kedel	Gasolie	0,25	0,29	4	0	4		92%	01-01-2012		0,29					
Struer by																	
Gimsing, Struer Forsyning Fjernvarme A/S	Kedel	Naturgas	0	1	7	0	7		90%	01-01-1992			4,9				
Central Vest, Struer Forsyning Fjernvarme A/S	Kedel	Naturgas	44	43	18	0	16		90%	01-01-1966			0,0				
Sydvest, Struer Forsyning Fjernvarme A/S	Kedel	Gasolie	1	1	11	0	10		90%	01-01-1975		0,71	0,0				
Hjerm by																	
Hjerm, Struer Forsyning Fjernvarme A/S	Kedel	Gasolie	0,12	0,13	4	0	3		79%	01-01-1991		0,13					
Vejrum by																	
Vejrum, Struer Forsyning Fjernvarme A/S	Elpatron	El	0	0	1	0	1		100%	01-12-2009							
Total			1.953				277										
Heraf Holstebro by			1.900				223										
Heraf Struer by			45				32										
Heraf resterende byer (4 stk)			8				22										

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

Anlæggenes geografiske placering er illustreret på næste side.



Figur 5 Anlæggendes geografiske placering i Holstebro.



Figur 6 Anlæggenes geografiske placering i Struer

1.3 Fremtidig forsyningsstruktur

Varmeleverancer fra biogasmotoranlægget ved Vestforsyning Spildevand A/S er ophørt.

Måbjerg Bio Energy har netop fået tildelt et større tilskud fra EU til etablering af en bioethanolfabrik - Maabjerg Energy Concept (MEC).

MEC bygges som et bioraffinaderi, der udnytter synergien mellem de eksisterende anlæg – det biomassefyrede kraftvarmeanlæg, biogasanlægget og et nyt anlæg til produktion af bioethanol

Maabjerg Bioethanol er et nyt fabriksanlæg, som skal opføres på grunden ved siden af Maabjerg BioEnergy.

Fabrikken skal anvende 300.000 tons halm til at producere 2. generations bio-ethanol.

Halmen vil primært blive leveret fra nærområdet (ca. 50 km radius) på lastvogntog med 24 bigballe à 0,5 ton.

I processen bliver halmen først snittet/hakket i stumper, og der efter vil damp ved meget højt tryk blive tilført fra Måbjergværket. Ved destillering af ethanolen vil der blive tilsat enzymer, som frigør sukkerstoffer i halmen.

Restprodukterne er vinasse og lignin. Vinasse er et sirupsagtigt, tyktflydende og meget sukkerholdigt produkt, som er velegnet til brug i biogasanlægget.

Lignin er den faste, tilbageværende del af halmstrået, når sukkeret er trukket ud. Det kan brændes af i kraftvarmeværket, eller man kan samle stoffet og sælge det som råvare til fremstilling af f.eks. bioplast.

Måbjergværket vil blive ombygget til primært at anvende lignin fra bioethanolprocessen, fiber fra biogasproduktionen og affald som fremtidigt brændsel. Samtidig skal værket kunne levere damp til brug for bioethanolproduktionen. Spildvarme fra bioethanol-fremstilling vil til gengæld blive udnyttet til fjernvarme.

Restprodukter fra bioethanolproduktionen vil erstatte den affaldsmængde, som i dag importeres fra London for at producere el og fjernvarme til Holstebro og Struer.

I forbindelse med screeningen er det valgt at tage udgangspunkt i en placering af et eventuelt nyt geotermianlæg på adressen Energivej 2, 7500 Holstebro (ved Måbjergværket).

I tilknytning hertil har både Vestforsyning og Struer Forsyning peget på en placering nord for Struer (ved Bremdal).

Projekt:	Landsdækkende screening af geotermi i fjernvarmesystemerne
Til:	Ea Energianalyse & COWI
Kopi:	GEUS
Fra:	Birte Røgen, Malthe Jacobsen & Asger Løngreen, Dansk Fjernvarmes Geotermiselskab
Dato:	3. februar 2015
Emne:	Beregning af et geotermianlæg i Holstebro-Struer

1 Indledning

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

Der tages udgangspunkt i en placering af et eventuelt geotermianlæg ved Måbjergværket på Energivej 2, 7500 Holstebro.

2 De geologiske forudsætninger

Geologisk set ligger Holstebro-Struer 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 Holstebro-Struer.

Usikkerheden på de geologiske parametre er medium på grund af nærhed til borer, samt en rimelig dækning med seismiske linjer. De geologiske data, der indgår i beregningerne, er vist i Tabel 1.

Formation		Gassum Fm
Terrænkote	moh	36
Dybde@midt reservoir	m TVD GL	2889
Temperatur@midt reservoir	°C	89
Tykkelse af formation	m TVT	105
Tykkelse af potentielt reservoirsand	m TVT	27
Transmissivitet	Dm	11
Seismik-anbefaling	km	25

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.

Fordelingen af varmekonsumet mellem de enkelte byer koblet på transmissionsnettet kendes ikke. Da Måbjergværket ligger i umiddelbar nærhed af Holstebros fjernvarmenet, og da forsyning til øvrige net (Struer og landsbyer) kun udgør en mindre del af varmegrundlaget vælges det at benytte temperaturerne for Holstebros net ved beregning af geotermianlægget. Det forudsættes, at den affaldsvarme, der blev genereret på Måbjergværket i 2012, (del af de 1766 TJ) regnes som prioriteret grundlast (jævnt fordelt over året), og kan anvendes som drivvarme/eftervarme for geotermi.

Varmegrundlag	TJ/år	1950
Eksisterende produktionsanlæg med forret. Antages tilgængelig som drivvarme.	MW	56
Fremløbstemperatur vinter	°C	76
Returløbstemperatur vinter	°C	38
Fremløbstemperatur sommer	°C	68
Returløbstemperatur sommer	°C	42
Mindste varmeeffekt (sommereffekt)	MW	Standard kurve

Tabel 2: Energiforudsætninger for Holstebro-Struer fjernvarmeområde.

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 affaldsforbrændingsanlæg 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.

5 Resultater

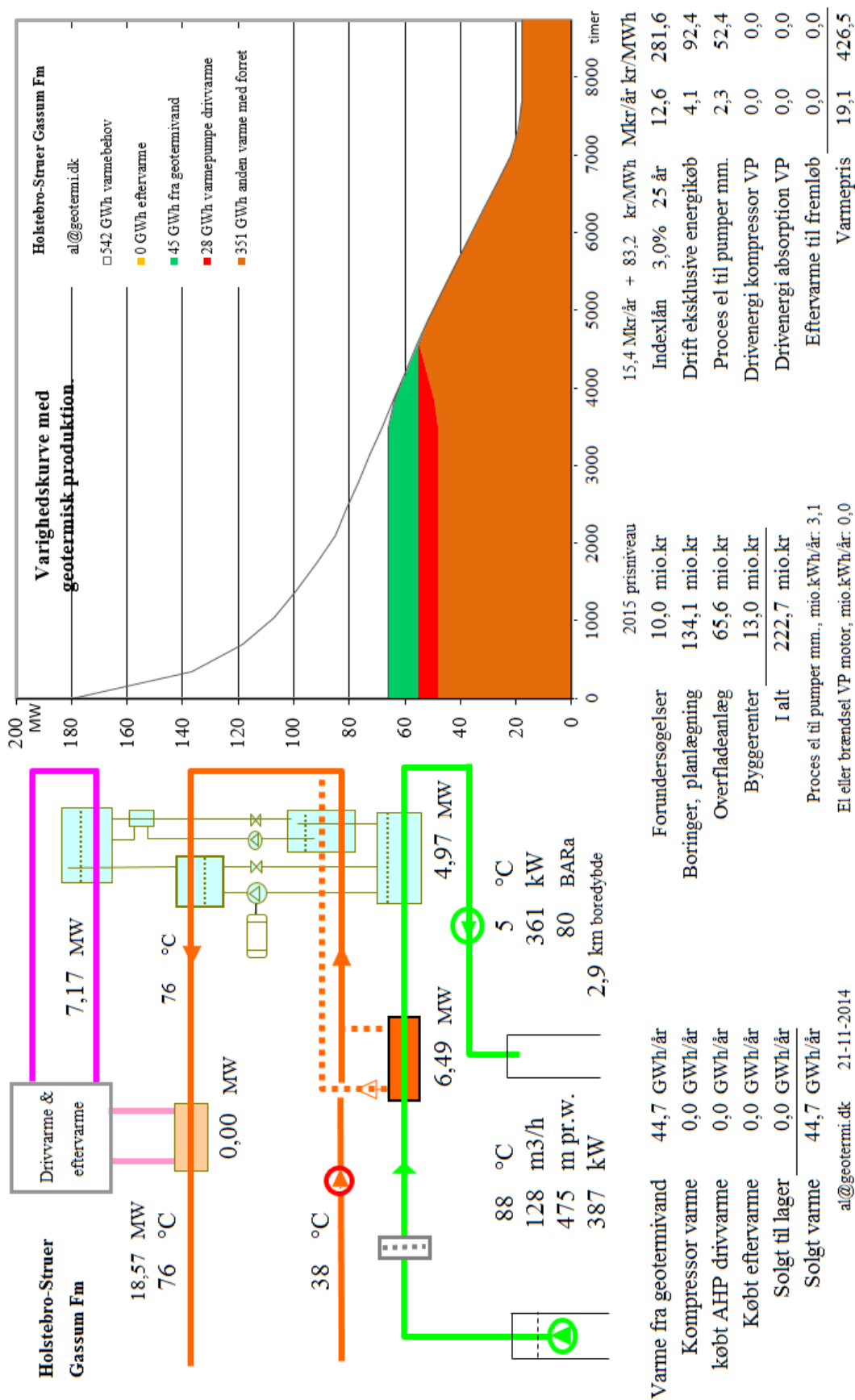
Resultaterne af anlægsberegninger er samlet i den følgende Tabel 3. Desuden vises resultater for hver geotermiPRO-beregning i en figur indeholdende anlægsskitse med energibalance, varighedskurve med geotermibidrag samt økonomiske nøgletal. Output fra standard-beregningen vises i Figur 1. Resultater fra 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 223 mio. kr. kan etableres et geotermianlæg med en kapacitet på 11,5 MW varme fra undergrunden og en total effekt inklusiv driv- og eftervarme på 18,6 MW.

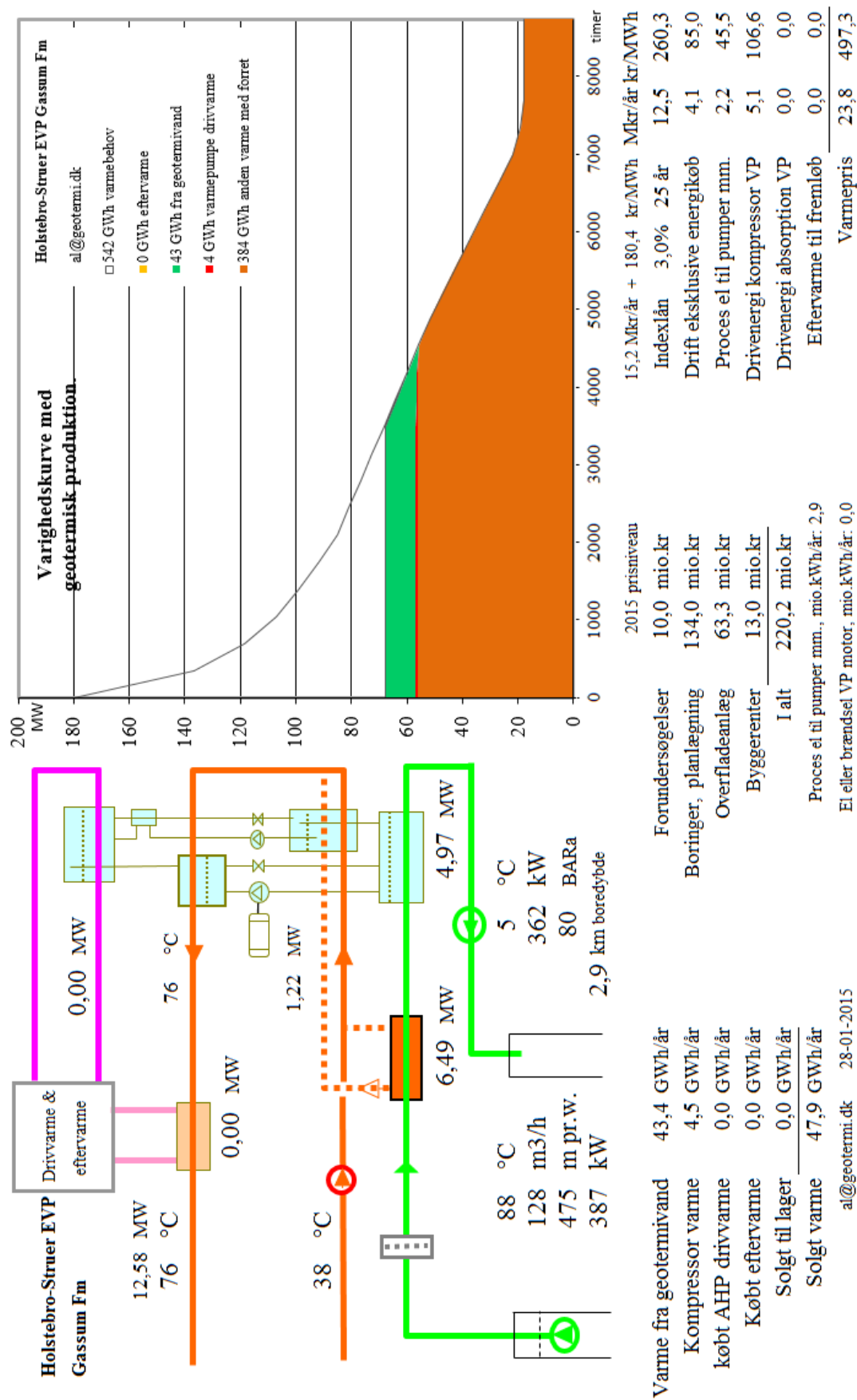
Med de generelle forudsætninger, herunder antagne energipriser og kalkulationsrente, resulterer dette i en årlig varmeproduktion fra undergrunden på 45 GWh/år og en forventet varmepris for geotermivarmen på 427 kr./MWh.

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 medium.



Figur 1: Output fra geotermiPRO.



Figur 2 - Output fra geotermiPRO.

Beregningsresultater		A) Absorptions varmepumper		B) El- varmepumper	C) Kombination Absorptions og el VP
	Enhed	Samlet anlæg	Opdelt anlæg	Samlet anlæg	
Anlægskapacitet (vinter)					
1) Effekt fra geotermivand	MW	11,460		11,465	11,465
2) Effekt fra drivvarme	MW	7,174		N/A	
3) Effekt fra eftervarme	MW	0,000		N/A	
4) Varmeeffekt til fjernvarmevand	MW	18,570		12,577	
5) Proces el	MW	0,797		0,764	
6) Varmepumpe el	MW	N/A		1,224	
Årsenergiomsætning, forholdstal					
7) Varme fra geotermivand	%	100,000		100,000	
8) Drivvarme	%	63,182		N/A	
9) Eftervarme	%	0,000		N/A	
10) Varme til fjernvarmevand	%	163,182		110,255	
11) Proces el forbrug	%	6,985		6,688	
12) Varmepumpe el forbrug	%	N/A		10,255	
Investeringsomkostninger					
13) Samlet investering	mio. kr	209,684		207,292	237,584
14) Byggerenter	mio. kr	13,007		12,952	13,632
Driftsomkostninger					
15) Faste D&V omkostninger	mio. kr./år	2,751		2,713	3,333
16) Variable D&V omkostninger, eksklusiv energiforbrug, per MWh varme produceret fra geotermivand	kr./MWh	31,375		28,328	

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 Holstebro-Struer. 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."

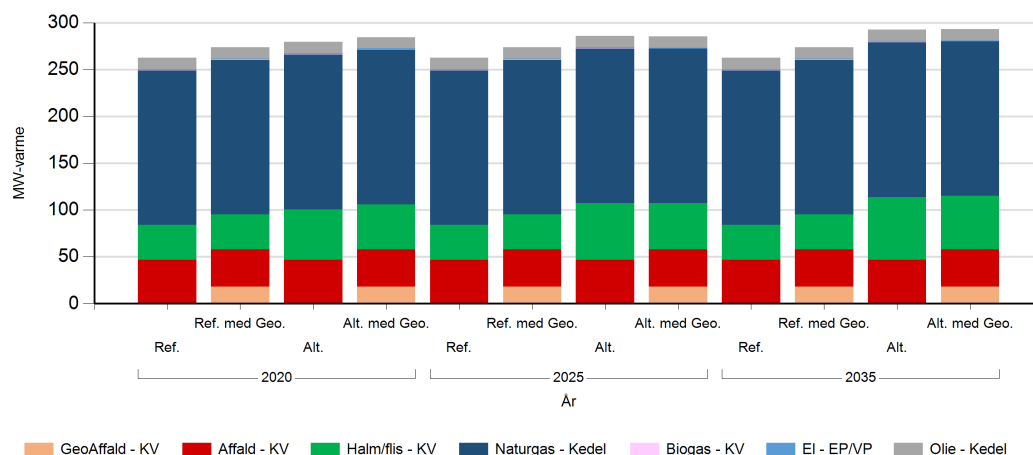
Denne rapport viser varmeproduktionskapaciteter, årlig fjernvarmeproduktion og månedlig fjernvarmeproduktion. Figur- og tabelforklaring er som følger:

- 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: Fuldlasttimer for varmeproduktionsenhederne.

Vi har ikke inddraget Måbjerg energy concept i fremskrivningerne da vi ikke har detaljeret oplysninger og de tekniske foranstandlinger i værket.

Kapaciteter

Fjernvarmeproduktionskapacitet - fordelt på brændsler og anlægstyper



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

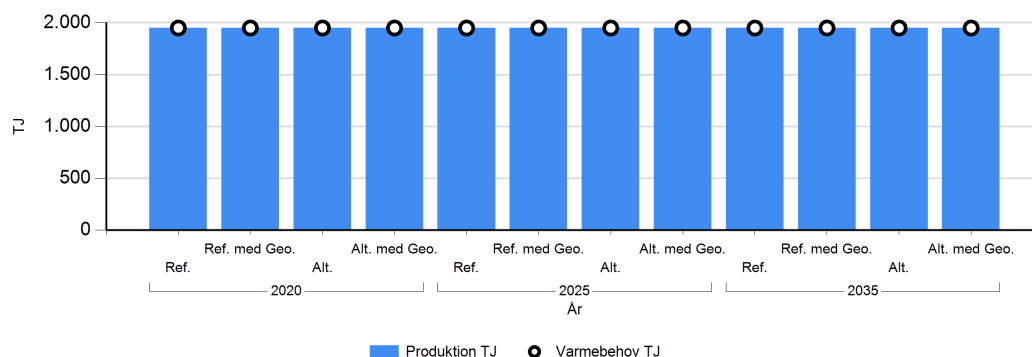
Fjernvarmeproduktionskapacitet - fordelt på brændsler og anlægstyper

MW	2020				2025				2035			
Brædsel og Anlægstyper	Ref.	Ref. med Geo.	Alt.	Alt. med Geo.	Ref.	Ref. med Geo.	Alt.	Alt. med Geo.	Ref.	Ref. med Geo.	Alt.	Alt. med Geo.
Biogas - KV	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5		0.5	0.5	0.5	
Halm/flis - KV	37.3	37.3	54.0	48.2	37.3	37.3	60.4	49.6	37.3	37.3	67.1	57.3
Naturgas - Kedel	165.0	165.0	165.0	165.0	165.0	165.0	165.0	165.0	165.0	165.0	165.0	165.0
EI - EP/VP	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
GeoAffald - KV		18.3		18.3		18.3		18.3		18.3		18.3
Affald - KV	46.7	39.6	46.7	39.6	46.7	39.6	46.7	39.6	46.7	39.6	46.7	39.6

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

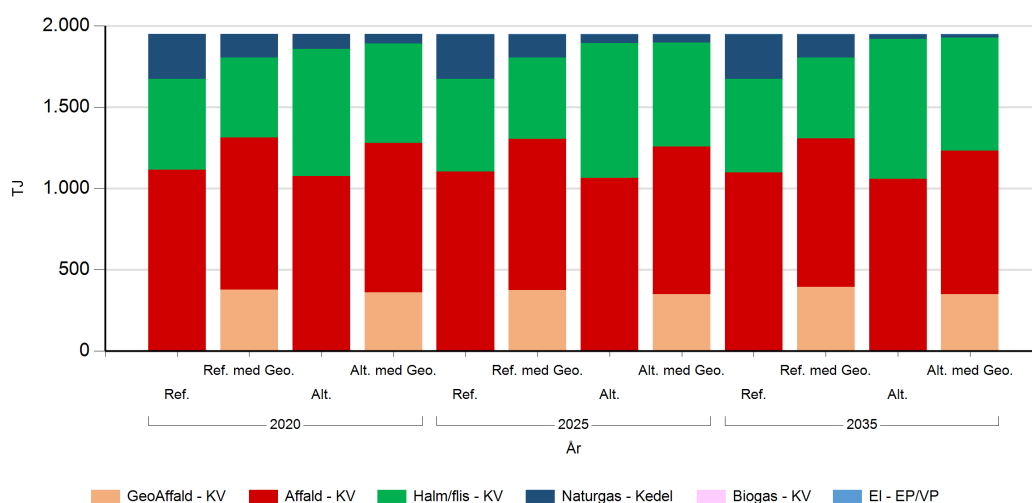
Fjernvarmeproduktion

Fjernvarmeproduktion i forhold til fjernvarmebehov



Figur 2: Fjernvarmeproduktion i forhold til fjernvarmebehov for Holstebro-Struer. 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 Holstebro-Struer.

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.
Naturgas - Kedel	278,4	145,6	92,6	58,5	278,3	145,5	56,0	53,1	277,9	145,1	30,4	24,1
El - EP/VP					0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2	0,1	0,1
Biogas - KV					0,0	0,0	0,0		0,3	0,3	0,1	
Affald - KV	1.114,5	934,1	1.074,3	917,2	1.102,9	929,8	1.064,0	907,6	1.097,3	912,2	1.056,6	884,5
Halm/flis - KV	556,8	492,7	782,8	613,3	568,4	500,2	829,6	640,2	574,0	499,2	862,6	694,0
GeoAffald - KV		377,2		360,7		374,1		348,8		392,7		347,1

Tabel 2: Fjernvarmeproduktion fordelt på brændsler og anlægstyper for Holstebro-Struer.

Fuldlasttimer for varmeproduktion

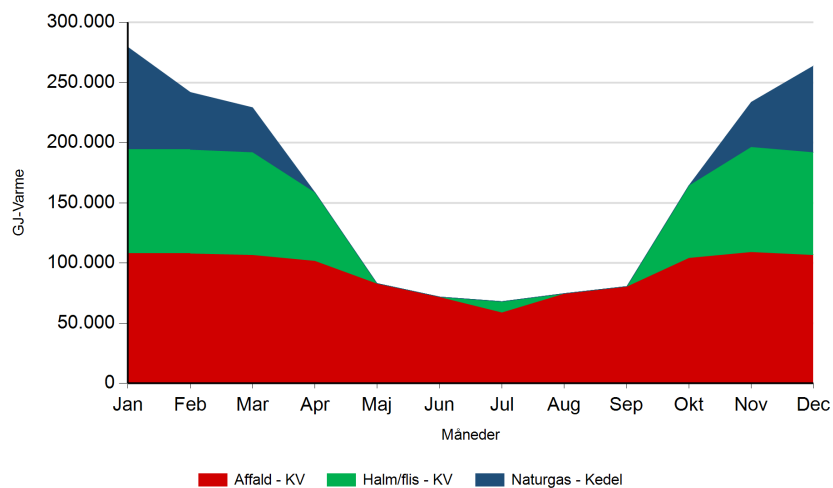
Fuldlast timer	2020				2025				2035			
Brændsler og anlæg	Ref.	Ref. med Geo.	Alt.	Alt. med Geo.	Ref.	Ref. med Geo.	Alt.	Alt. med Geo.	Ref.	Ref. med Geo.	Alt.	Alt. med Geo.
Naturgas - Kedel	469	245	156	98	469	245	94	89	468	244	51	41
EI - EP/VP					11	11	8	8	42	42	19	19
Biogas - KV					19	19	4		168	168	34	
Affald - KV	6.625	6.559	6.386	6.440	6.556	6.528	6.325	6.373	6.523	6.405	6.281	6.210
Halm/flis - KV	4.143	3.666	4.356	4.110	4.229	3.721	4.160	4.165	4.270	3.714	3.946	3.743
GeoAffald - KV		5.736		5.484		5.689		5.303		5.972		5.277

Tabel 4: Antal af fuldlasttimer for varmeproduktion i Holstebro-Struer.

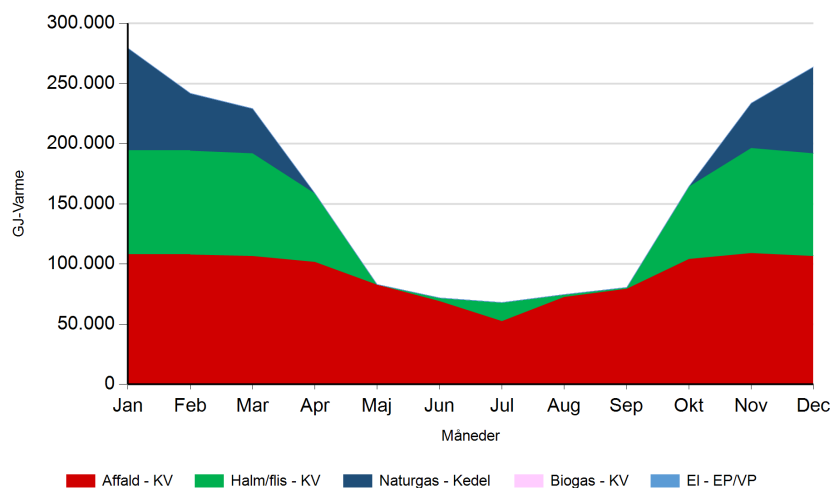
Månedlig varmeproduktion fordelt på brændsler og anlægstyper for Holstebro-Struer.

Ref.

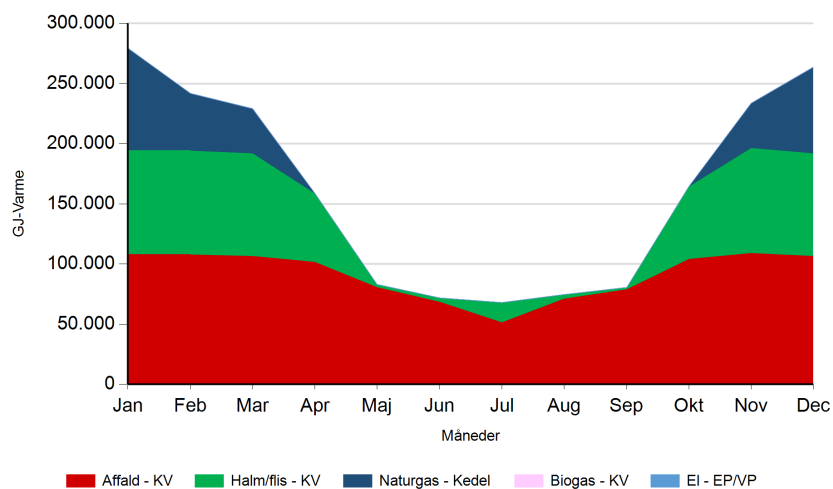
2020



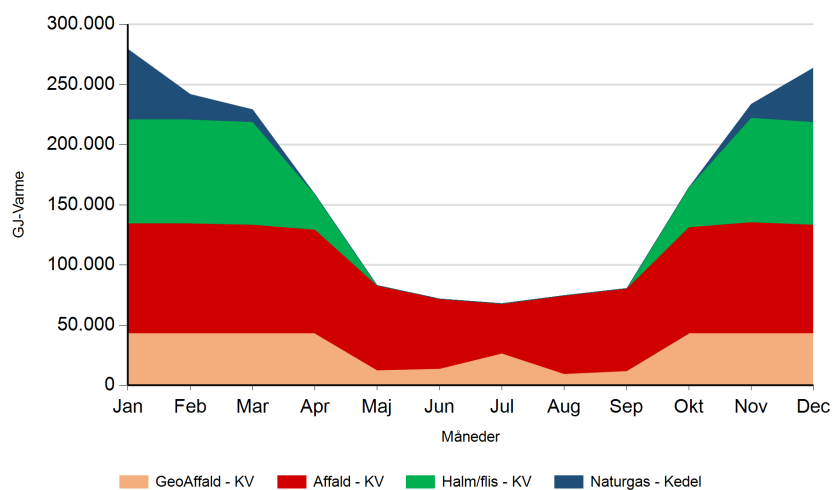
2025



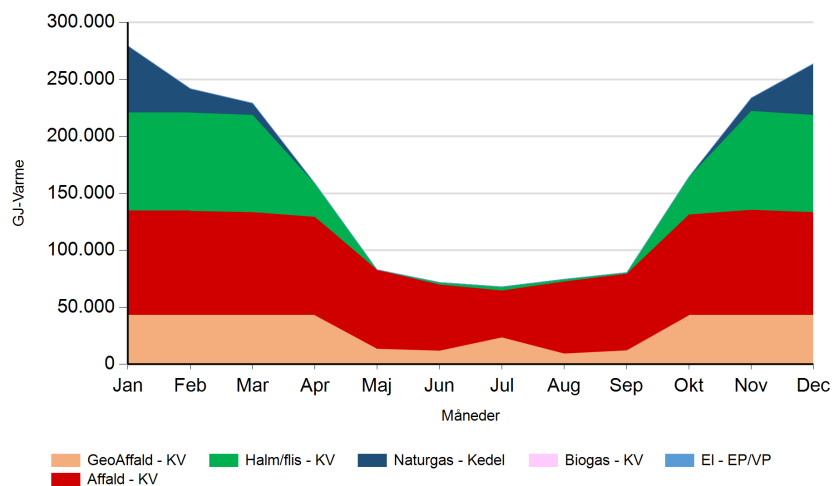
2035



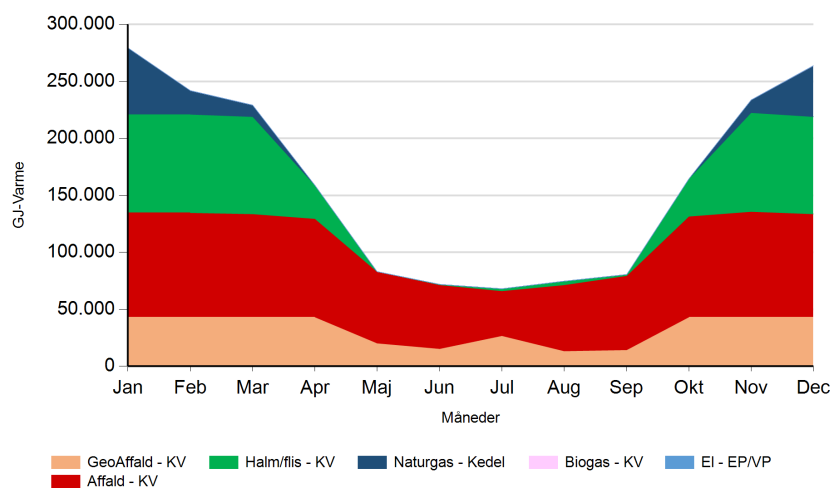
Ref. med Geo. 2020



2025

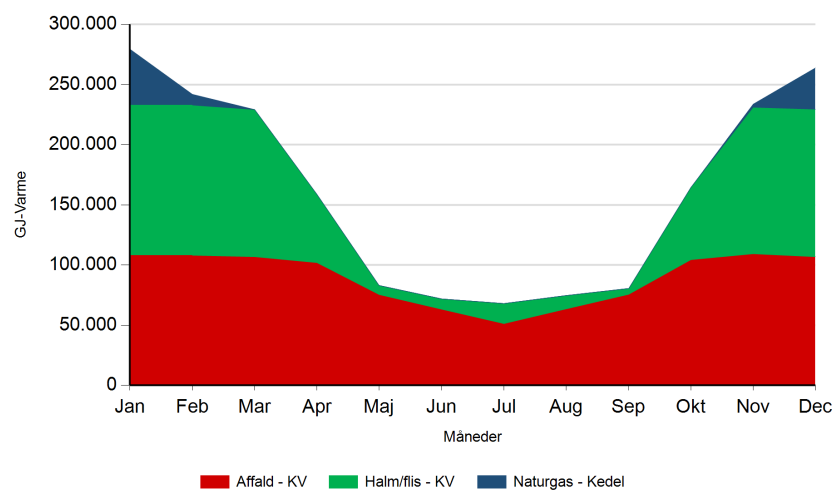


2035

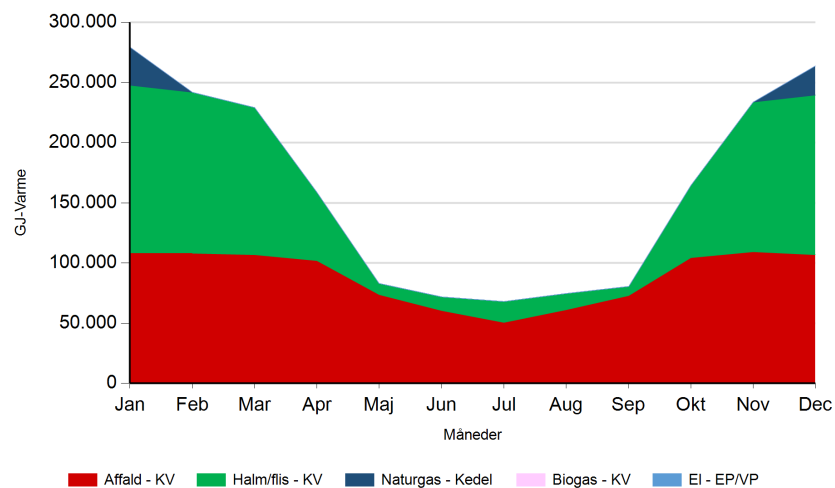


Alt.

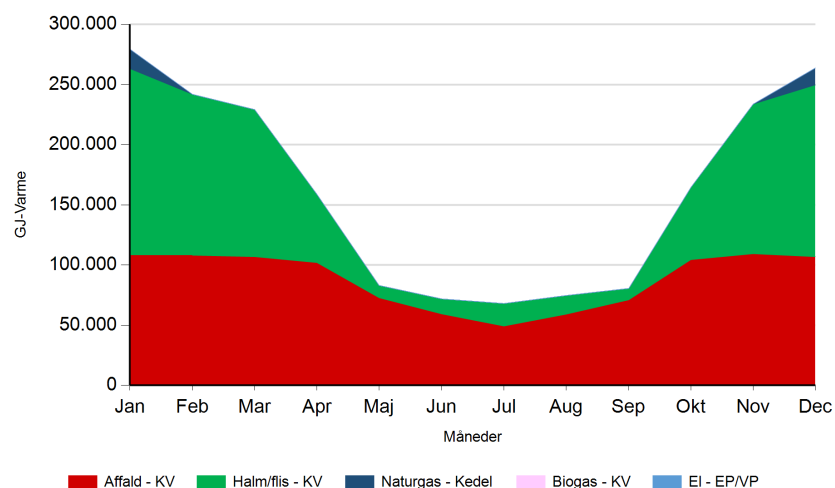
2020



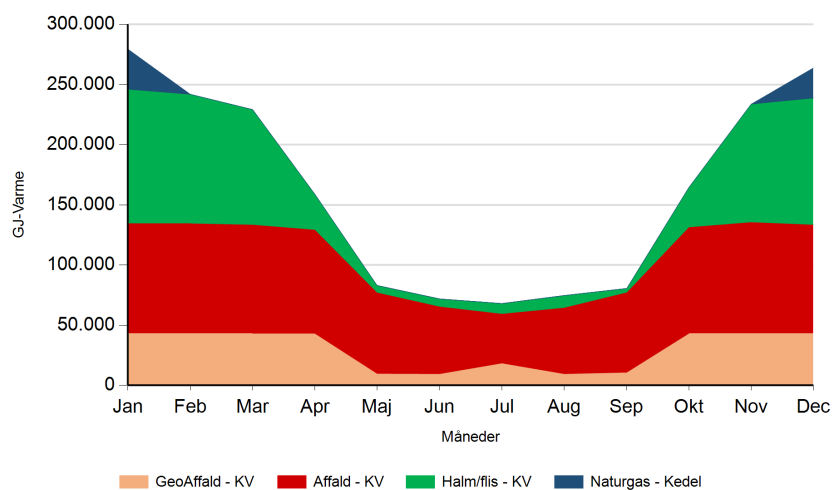
2025



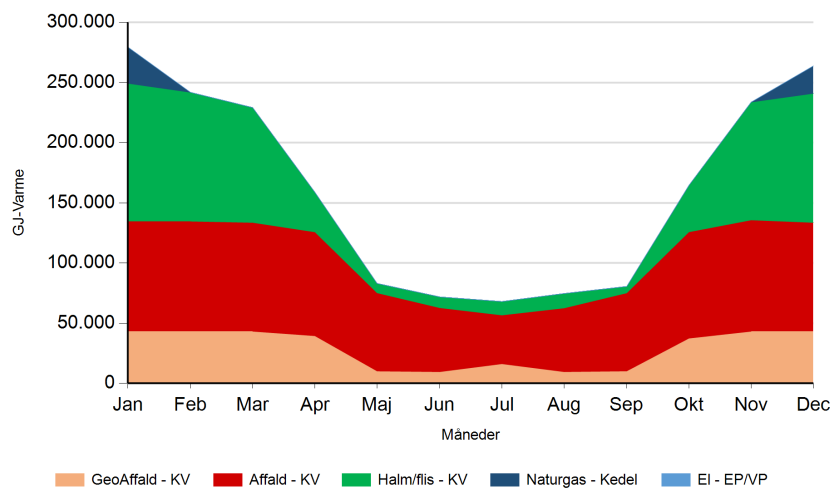
2035



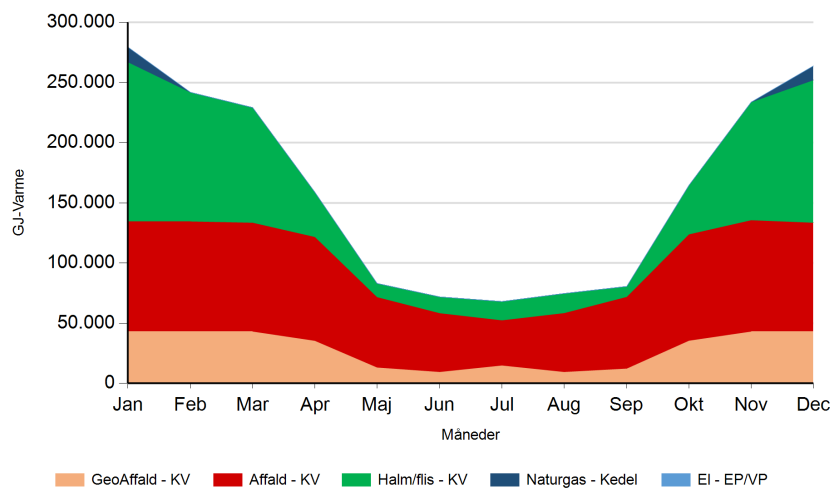
Alt. med Geo. 2020



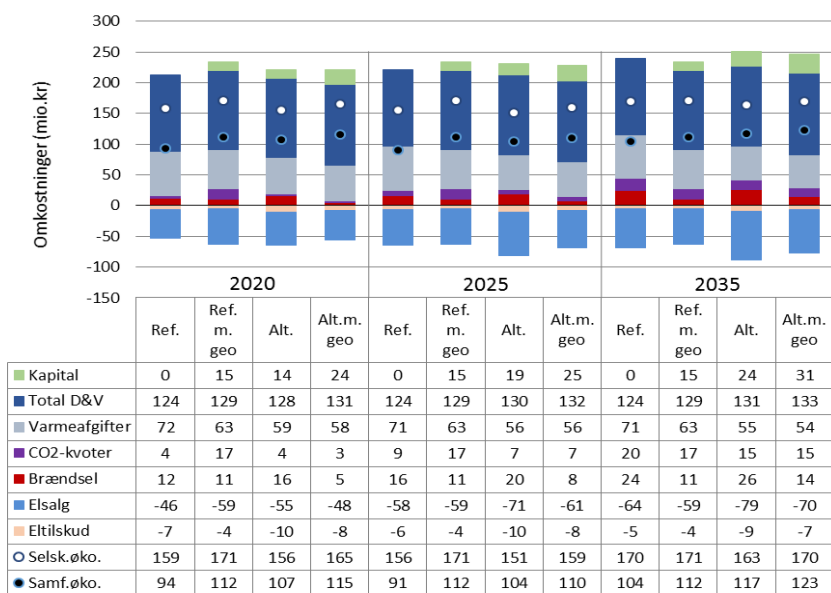
2025



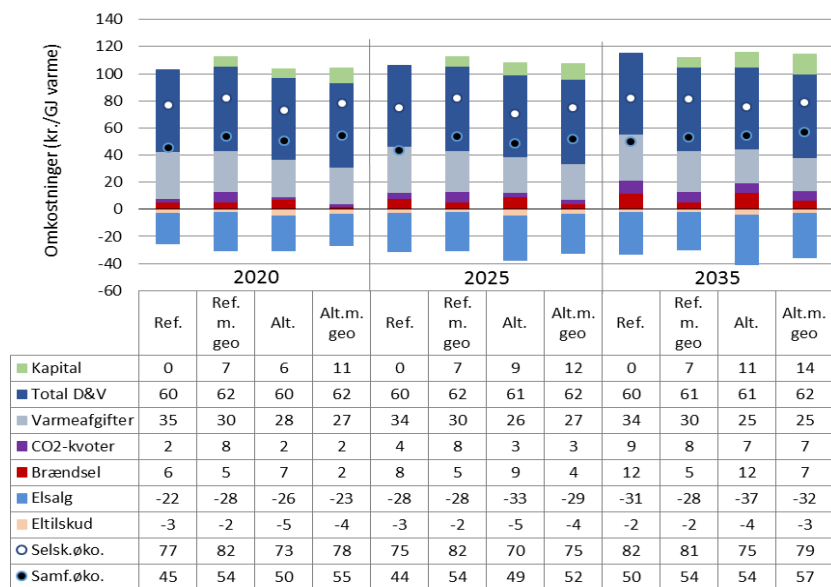
2035



Figur 5: Fjernvarmeproduktion over året fordelt på brændsler og anlægstyper for Holstebro-Struer.



Figur 6: Samlede varmeomkostninger for området Holstebro



Figur 7: Samlede varmeproduktionsomkostninger for området Holstebro

Det geotermiske screeningsprojekt

Holstebro-Struer lokaliteten

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



Indhold

1.	Introduktion	2
2.	Geologisk baggrund	4
3.	Resultater for Holstebro-Struer-lokaliteten	7
3.1	Anbefalinger	9
4.	Datagrundlag	10
5.	Gennemgang af data	12
5.1	Udbredelse og kontinuitet af formationer og interne reservoirer	12
5.1.1	Seismisk tolkning og kortlægning.....	12
5.1.2	Boringsdata	14
5.2	Reservoirkvalitet	17
5.2.1	Tolkning af lithologi.....	20
5.2.2	Vurdering af tykkelser, lerindhold og porøsitet	21
5.2.3	Permeabilitet.....	21
5.2.4	Transmissivitet	22
5.3	Temperatur	23
5.4	Salinitet	25
6.	Referencer	26

1. Introduktion

I denne rapport præsenteres relevante geologiske data som grundlag for en vurdering af de dybe geotermiske muligheder ved en lokalitet beliggende nord for Holstebro på adressen Energivej 2, 7500 Holstebro (Figur 1). Udvalgelsen 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).

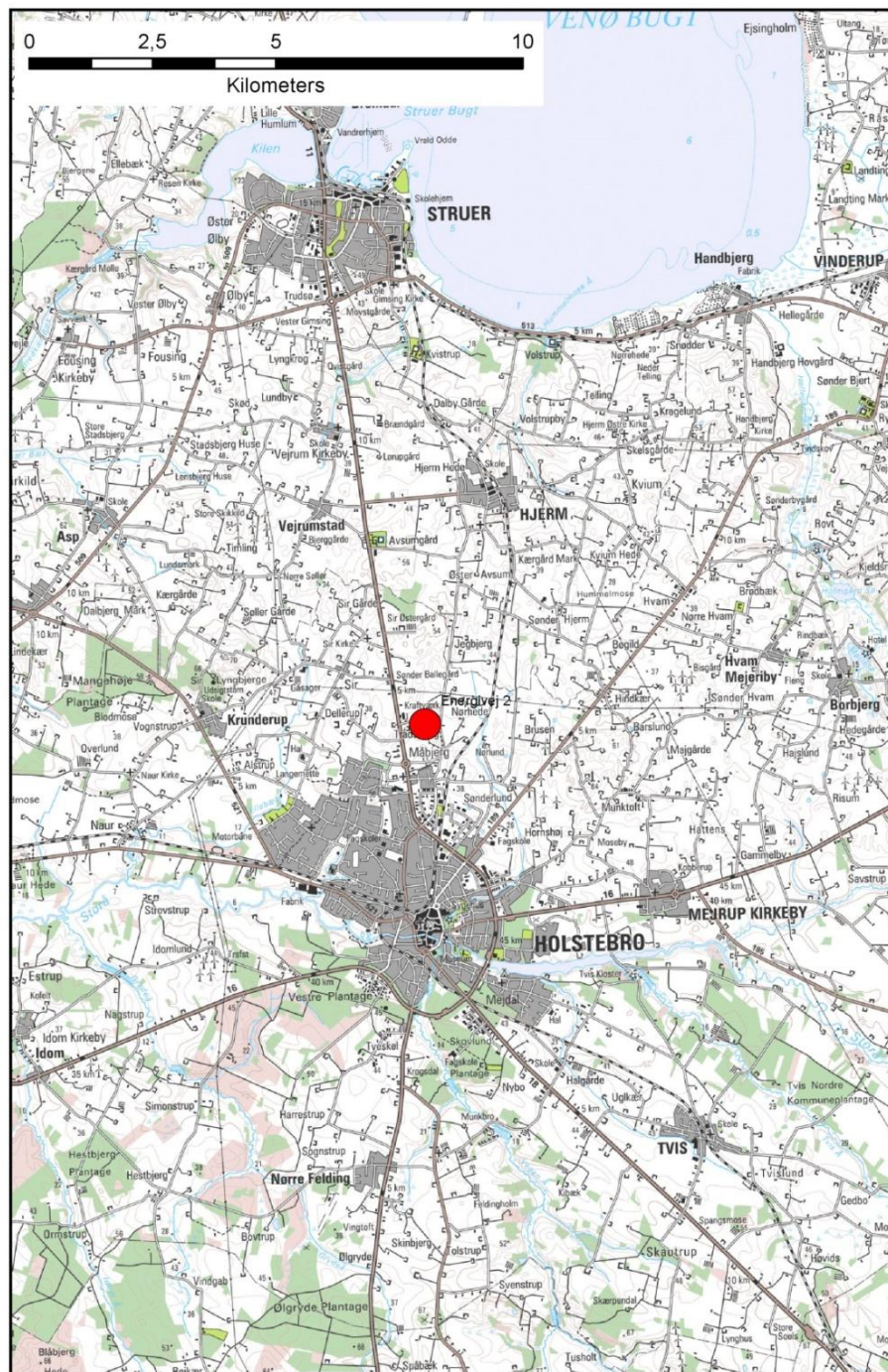
Holstebro-Struer fjernvarmeområde udgør ét af 28 fjernvarmeområder, der skal screenes for de geotermiske muligheder ved en udvalgt lokalitet. Screeningen sker for midler afsat i den Energipolitiske aftale af 22. marts 2012. De 28 fjernvarmeområder er valgt ud fra, at deres varmemarked er større end 400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

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

Undergrundens geologiske opbygning kan variere betydeligt over selv korte afstande og som følge heraf, kan det geotermiske potentiale variere tilsvarende. En kortlægning af denne variation over større områder er meget omfattende, kræver ofte indsamling af supplerende geologiske data og ligger som følge heraf udenfor rammerne af indeværende screening. Den valgte lokalitet udgør derfor muligvis heller ikke det mest optimale sted for udnyttelse af geotermi i Holstebro-Struer-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 Holstebro-Struer-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 25 meter sandsten, der er beliggende mere end 2835 meter under terræn. 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 Holstebro-Struer-lokaliteten og som udgør et input til efterfølgende økonomiske beregninger mm., er samlet i Tabel 3.1 i afsnit 3. Det er også i dette afsnit, at det geotermiske potentiale vurderes, og der gives anbefalinger til eventuel-

le 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 prognoselokaliteten (rød cirkel) nord for Holstebro.

2. Geologisk baggrund

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

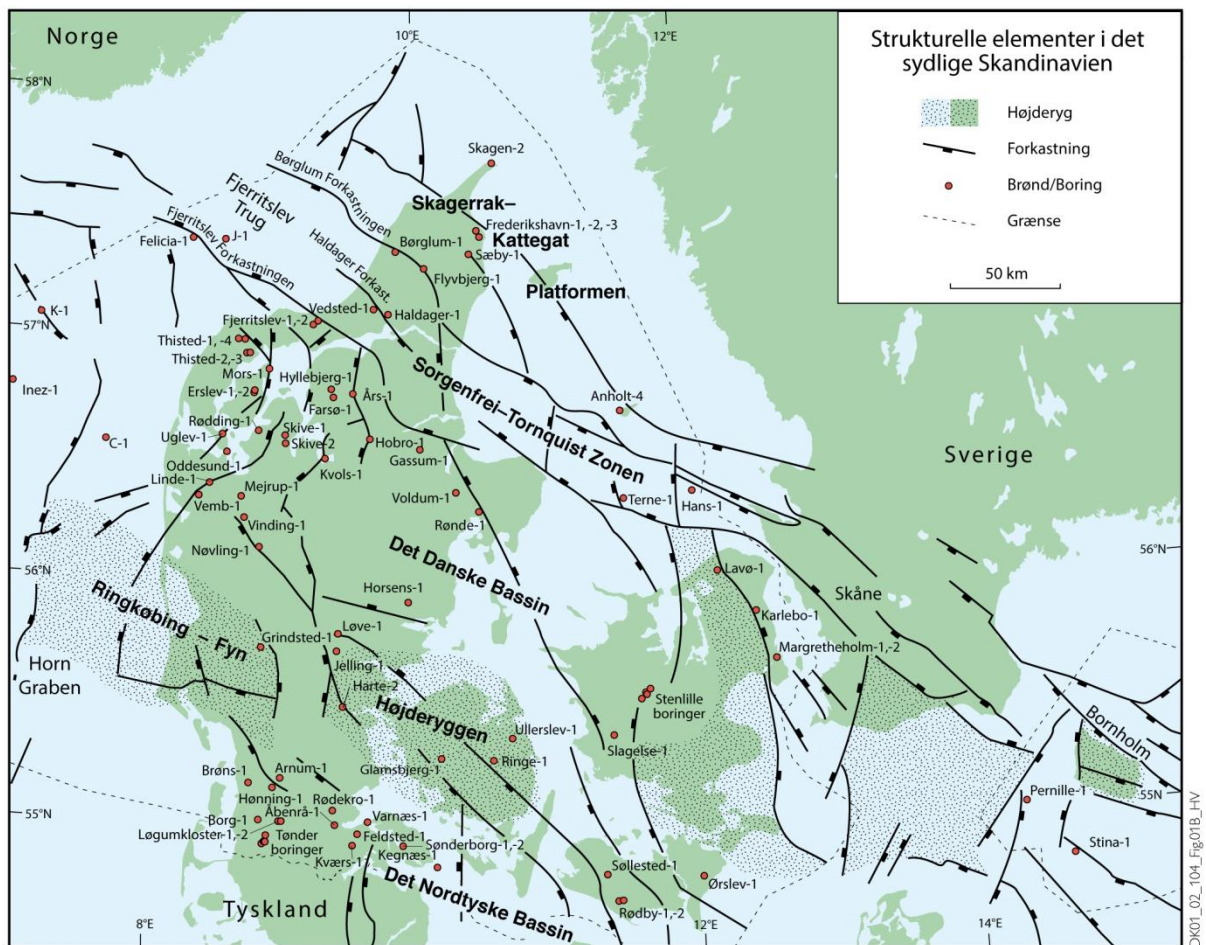
Efter en indledende aflejring af Rotliegend grovkornede klastiske sedimenter i det Danske Bassin og det Nordtyske Bassin fulgte en lang periode med indsynkning, hvor tykke aflejringer af Zechstein-salt blev dannet i bassinerne efterfulgt af aflejring af sand, mudder, karbonat og mindre saltdannelser i Trias og Tidlig Jura. Regional hævnning i tidlig Mellem Jura førte til en betydelig erosion af underliggende sedimenter, specielt op mod flankerne af og over det højtliggende grundfjeld i Ringkøbing–Fyn Højderyggen. Forkastningsbetinget indsynkning fortsatte dog i Sorgenfrei–Tornquist Zonen, hvor der aflejredes sand og mudder. Regional indsynkning fandt atter sted i løbet af den sene del af Mellem Jura og fortsatte generelt indtil Sen Kridt – Palæogen tid, hvor indsynkningen blev afløst af opløft og erosion relateret til den Alpine deformation og åbningen af Nordatlanten. Aflejringerne fra den sidste periode med indsynkning består af Øvre Jura – Nedre Kridt sandsten og i særdeleshed mudder- og siltsten efterfulgt af tykke karbonat- og kalkaflejringer fra Øvre Kridt, der udgør den øverste del af den mesozoiske lagserie i bassinerne. De betydelige mængder sedimenter, der blev aflejret gennem Mesozoikum, førte i perioder til, at underliggende aflejringer af Zechstein-salt blev plastisk deformeret og nogle steder søgte 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 selv samme lag er ekstra tykke i disse områder. Saltbevægelsen har endvidere mange steder været ledsaget af forkastningsaktivitet, og da tektonisk betinget forkastningsaktivitet også har fundet sted, er den strukturelle kontinuitet som følge heraf lille i dele af det Danske Bassin.

I Holstebro-Struer-området er Øvre Perm – Kvartær lagserien 4,5–5,5 km tyk (Vejbæk & Britze 1994). I området vurderes potentielle geotermiske sandstensreservoirier primært at være til stede i den Øvre Triassiske – Nedre Jurassiske Gassum Formation (Mathiesen et al. 2013). Dette er baseret på, at formationen vides at kunne indeholde geotermiske sandstensreservoirier, og at den i større områder vurderes til at være beliggende indenfor dybdeintervallet 800–3000 meter, der anses for egnet til dyb geotermisk indvinding. Fokus er derfor i det efterfølgende på denne formation i vurderingen af det geotermiske potentiale ved prognoselokaliteten.

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 udgør det bedst kendte sandstensreservoir i Danmark og udnyttes til geotermisk indvinding i Thisted og Sønderborg 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 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 transporterede 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, Sorgenfrei-Tornquist Zonen, Skagerrak-Kattegat Platformen, Ringkøbing-Fyn Højderyggen og den nordligste del af det Nordtyske Bassin. Modificeret figur fra Nielsen (2003).

3. Resultater for Holstebro-Struer-lokaliteten

De geologiske data for Gassum Formationen ved Holstebro-Struer-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 reservoirstørrelser.

Af tabellen fremgår det, at formationen vurderes at være til stede ca. 2800–2905 meter under havniveau (m.u.h.) og dermed i den dybde ende af dybdeintervallet for dyb geotermisk indvinding. Dette afspejler sig i temperaturen, der vurderes til at være ca. 86 °C i midten af formationen. Reservoirstørrelserne vurderes rimelige 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 vurderet til ca. 11 Darcy-meter ved prognoselokaliteten. Usikkerheden, der knytter sig til den estimerede værdi, udelukker dog ikke transmissivitetsværdier på under 10 Darcy-meter (Tabel 3.1). Transmissiviteten er beregnet ud fra de logbestemte porøsiteter, men kun zoner med reservoir-kvalitet indgår i beregningen (zonerne er markeret som "Potentielt reservoirsand" i Figur 6 og 7). I beregningen er der således forudsat en vis minimumsporøsitet (>15 %) samt et relativt lavt ler-indhold (<30 %).

I området omkring Holstebro-Struer er undergrunden strukturelt kompliceret med mange saltstrukturer, og flere steder gennemskæres lagserien af forkastninger. Prognoselokaliteten ligger over Vejrum saltstrukturens sydlige randsynklinal, og Gassum Formationen hældes stejlt mod nord; men på de seismiske data ses der ingen markante forkastninger i nærområdet til lokaliteten (inden for en afstand af ca. 2 km). Den seismiske datatæthed og -kvalitet er rimelig i området, men dog ikke tilstrækkelig til at udelukke, at der forekommer forkastninger, som opsplitter Gassum Formationen i nærheden af 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 850 meter tyk med toppen liggende ca. 1950 m.u.h. Kridt og Danien lagseriens kalkaflejringer vurderes til at være knap 900 meter tykke og beliggende ca. 586–1484 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.

Holstebro-Struer-lokaliteten			
UTMz32 X: 576.392 m; Y: 6.250.168 m			
Terrænkote: ca. 36 meter over havniveau (m.o.h.)			
Gassum Formationen	Estimeret værdi	Vurderet usikkerhed ¹	Usikkerheds-interval ²
			[MinCase - MaxCase]
Makro reservoirparametre			
Dybde til top af formation [m.u.h.]	2800	10 ³	2520–3080 ³
Tykkelse af formation [m]	105	15 ³	89–121 ³
Andel af sandsten i formationen			
Tykkelse af Gross sand [m]	33	10 ³	30–37 ³
Tykkelse af Potentielt reservoirsand ⁴ [m]	27	10 ³	24–30 ³
Potentielt reservoirsand/formation ⁵	0,26	10 ³	0,23–0,28 ³
Potentielt reservoirsand/Gross sand ⁶	0,81	10 ³	0,73–0,89 ³
Vandlevende egenskaber (reservoirsand)			
Porøsitet [%]	21	10 ³	19–23 ³
Gas-permeabilitet [mD]	338	4 ⁷	85–1352 ⁷
Reservoir-permeabilitet ⁸ [mD]	422	4 ⁷	106–1688 ⁷
Reservoir-transmissivitet (Kh) ⁹ [Dm]	11	5 ⁷	2–57 ⁷
Temperatur			
Temperatur ¹⁰ [°C]	86	10 ³	77–95 ³
Tekstur og cementering (sandsten)		Vurdering	
Kornstørrelse/sortering/afrundingsgrad		Fin til mellem kornstørrelse, i enkelte niveauer også grovkornet; ringe sorteret til velsorteret; subkantede til afrundede korn	
Diagenese/cementering		Svagt til mellem cementeret, hovedsageligt svagt kalkholdige til kalkholdige	
Andre betydende parametre		Vurdering	
Salinitet		Kloridkoncentrationen er under mætningspunktet for NaCl	
Sedimentologisk kontinuitet		Stor	
Strukturel kontinuitet		Lille; mange saltstrukturer i området. Lokaliteten er beliggende over flanken af en saltpude. I nærområdet til lokaliteten (inden for 2 km) er der ikke observeret forkastninger, som skærer Gassum Formationen	

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

De eksisterende seismiske data bør suppleres med indsamling af seismiske data omkring lokaliteten. Dette vil muliggøre en rumlig kortlægning af eventuelle forkastninger, der gennemskærer Gassum Formationen i nærheden af prognoselokaliteten. En eventuel geotermisk efterforskningsboring vil da efterfølgende kunne placeres mest hensigtsmæssigt. 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. Det vurderes, at der skal indsamles i størrelsesordenen af 25 km ny seismik.

Usikkerheden på reservoirtransmissiviteten vil dog først kunne elimineres ved udførelsen af en efterforskningsboring ned gennem Gassum Formationen ved eller i nærheden af prognoselokaliteten. Herved vil reservoirkvaliteten, inklusiv transmissiviteten, kunne vurderes ud fra indsamlede logs af god kvalitet, gode borespåne-beskrivelser, hydrauliske test af selve reservoiret samt eventuelt udtagne kerner af sandstensintervaller. Den store dybde til Gassum Formationen indebærer en risiko for, at diagenetiske processer, relateret til høje tryk- og temperaturforhold, har formindsket formationens reservoirgenskaber mere end antaget. Risikoen kan formindskes ved at placere et eventuelt kommende geotermianlæg i et område, hvor formationen ikke ligger så dybt; eksempelvis i retning af Mejrup-1 brønden.

4. Datagrundlag

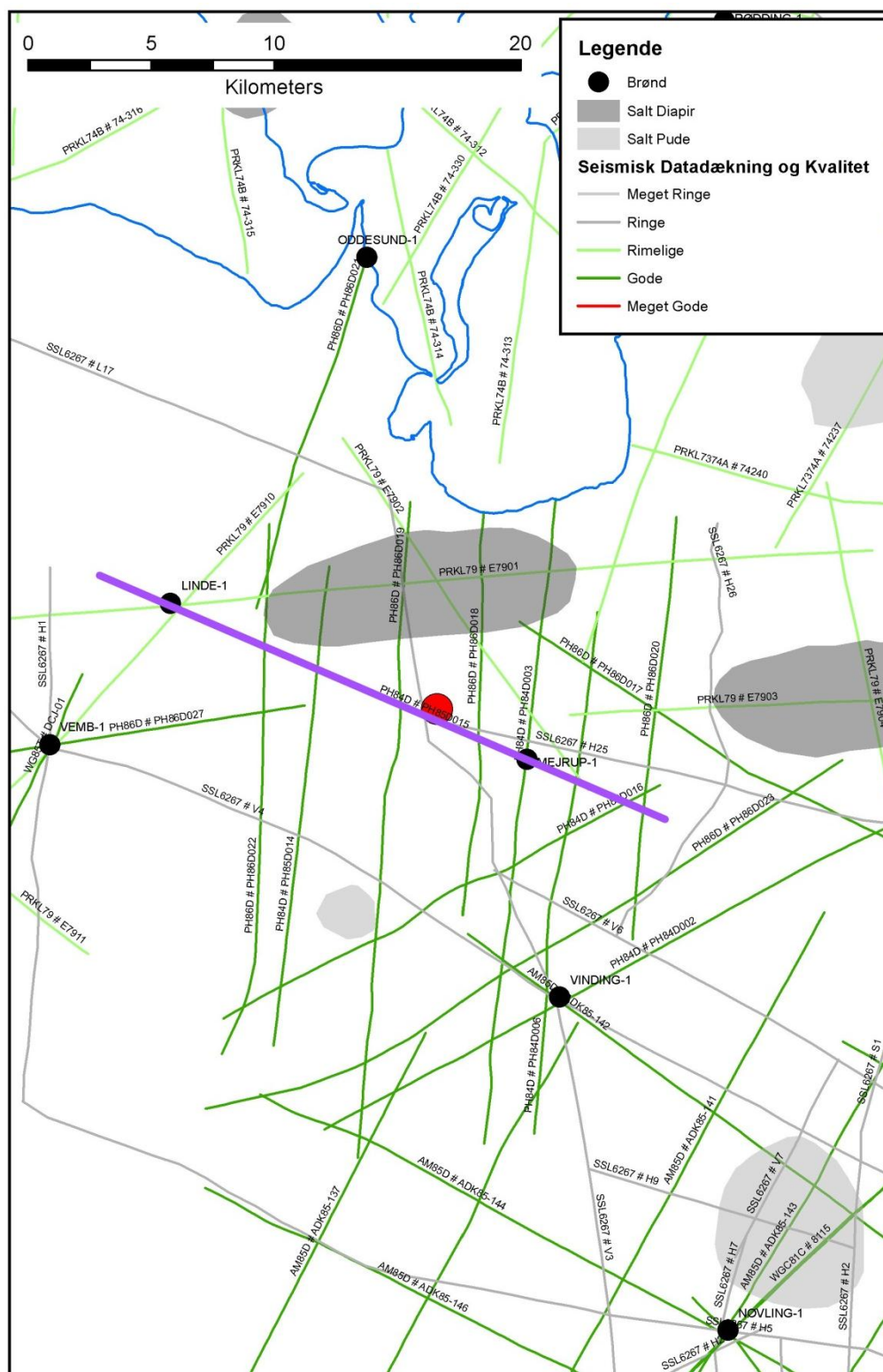
I Figur 3 er den tilgængelige database i Holstebro-Struer-området og i regionen vist i form af placeringen af brønde samt placering og kvalitet af seismiske linjer.

De nærmeste dybe brønde er Mejrup-1, Linde-1, Vinding-1, Vemb-1 og Oddesund-1, der er placeret henholdsvis 4, 12, 13, 16 og 19 km fra prognoselokaliteten (Figur 2 og 3). Brønddækningen er god i vurderingen af prognoselokaliteten, da Mejrup-1 kun er beliggende 4 km fra prognoselokaliteten, og da kvaliteten af brønddata er god for denne brønd. I Tabel 4.1 fremgår dybdeinterval og tykkelse af Gassum Formationen i de ovennævnte brønde på nær Linde-1, hvor formationen ikke er til stede. 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 og kvaliteten af de seismiske data er rimelig. Der er dog ikke indsamlet seismiske data umiddelbart nord for lokaliteten. Nærmeste seismiske linje til prognoselokaliteten er en vestnordvest-østsydøst orienteret seismisk linje (linje PH85D015 i Figur 3 og 4), der passerer syd om lokaliteten i en afstand af omkring 200 meter, og som endvidere passerer forbi Mejrup-1 i en afstand af ca. 300 meter.

Tabel 4.1: De enkelte brøndes omtrentlige afstand til prognoselokaliteten er angivet i parentes under brøndnavnet. Brøndenes placering fremgår endvidere på oversigtskortet i Figur 3. Formationer, der ikke er gennemboret (ikke til stede), men hvor stratigrafisk dybdereliggende lag er anført, er markeret med "-" i tabellen. Tykkelse er i meter, og dybdeinterval er i meter under havniveau (data fra Nielsen & Japsen 1991).

		Mejrup-1 (4 km)	Linde-1 (12 km)	Vinding-1 (13 km)	Vemb-1 (16 km)	Oddesund-1 (19 km)
Kalk Gruppen	Dybdeinterval (m.u.h.)	496–1382	540–1026	492–1235	1374–1555	407–1362
	Tykkelse (m)	886	486	744	181	955
Fjerritslev Fm	Dybdeinterval (m.u.h.)	1702–2177	1176–1314	1396–1539	1575–1779	1608–1893
	Tykkelse (m)	475	138	143	204	285
Gassum Fm	Dybdeinterval (m.u.h.)	2177–2281	-	1539–1590	1779–1837	1893–1990
	Tykkelse (m)	105	-	51	58	97



Figur 3: Placering af prognoselokalitet (rød cirkel) og nærmeste brønde samt placering og kvalitet af seismiske linjer i regionen. Den seismiske linje PH85D015, som er fremhævet med fed lilla streg, er anvendt til at fremstille et seismisk profil med tolkede seismiske horisonter i Figur 5.

5. Gennemgang af data

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

5.1 Udbredelse og kontinuitet af formationer og interne reservoirer

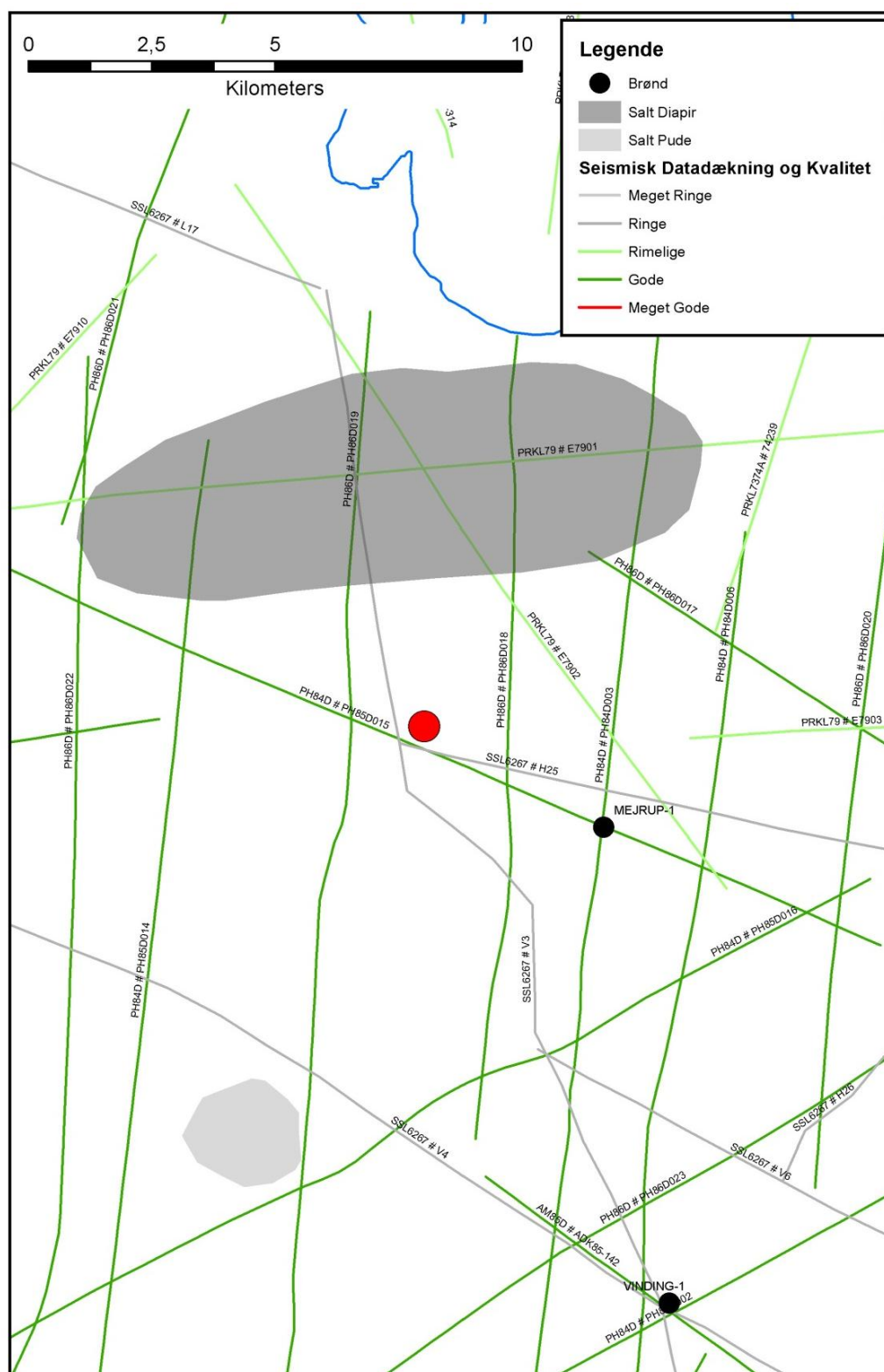
5.1.1 Seismisk tolkning og kortlægning

Dybder og tykkelser af udvalgte lagserier i undergrunden ved prognoselokaliteten ses i Tabel 5.1 og er baseret på delresultater af en igangværende og meget omfattende seismisk kortlægning, der vil munde ud i landsdækkende dybdekort til vigtige seismiske horisonter og formationsgrænser. Ud fra den seismiske kortlægning vurderes Gassum Formationens top at være til stede ca. 2800 m.u.h. ved prognoselokaliteten med en vurderet usikkerhed på ± 10 %. Formationens tykkelse vurderes til at være 105 meter med en usikkerhed på ± 15 %.

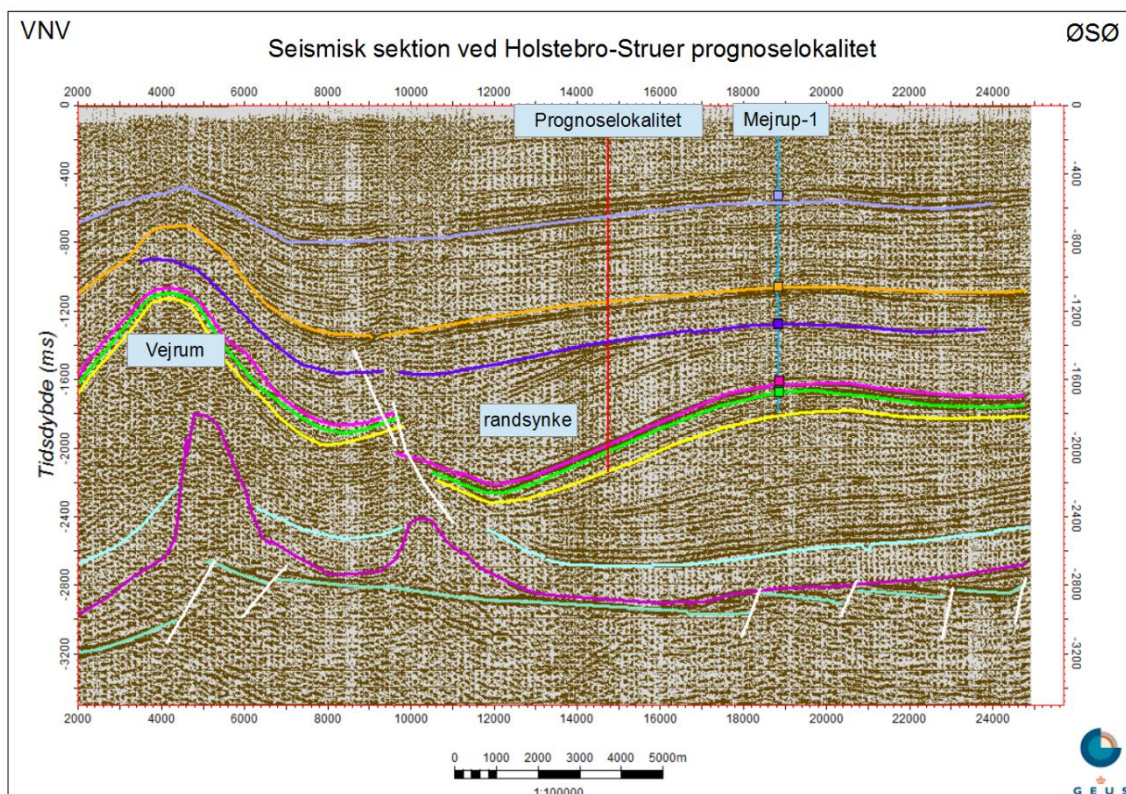
Den seismiske linje PH85D015 (Figur 3 og 4) er anvendt til at fremstille et omtrent vest-nordvest–østsydøst orienteret seismisk profil, der passerer syd om lokaliteten i en afstand af omkring 200 meter, og som endvidere passerer forbi Mejrup-1 i en afstand af ca. 300 meter. Profilet er vist med tolkede seismiske horisonter i Figur 5. Profilet skære diagonalt igennem randsænken syd for Vejrum saltstrukturen, og det fremgår af profilet, at prognoselokaliteten ligger over randsænken, mens Mejrup-1 er beliggende sydøst for denne. Dette indebærer, at Gassum Formationens top er beliggende ca. 620 meter dybere ved prognoselokaliteten end i Mejrup-1. Udviklingen af saltstrukturer forårsager ofte forkastninger i den overliggende lagserie, men i nærområdet til prognoselokaliteten (inden for 2 km) er der på de seismiske data ikke observeret forkastninger, som skærer Gassum Formationen. De seismiske data viser ingen variation i tykkelsen af Gassum Formationen fra Mejrup-1 til prognoselokaliteten.

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

Prognoselokalitet	Dybdeinterval (m.u.h.)	Tykkelse (m)
Danien kalksten & Kalk Gruppen	586–1484	898
Fjerritslev Fm	1950–2805	855
Gassum Fm	2800–2905	105



Figur 4: Indsamlede seismiske linjer omkring prognoselokaliteten. En del af den seismiske linje PH85D015 (markeret på Figur 3) er anvendt til at fremstille et seismisk profil med tolkede seismiske horisonter i Figur 5.



Figur 5: Seismisk profil baseret på den seismiske linje PH85D015, der passerer syd om prognoselokaliteten i en afstand af ca. 200 meter og forbi Mejrup-1 i en afstand af ca. 300 meter (Figur 3). Prognoselokaliteten og Mejrup-1 er projiceret vinkelret ind på profilet og er markeret med henholdsvis en rød og en blå lodret streg. Det fremgår af profilet, at undergrunden er strukturelt kompleks med saltstrukturer, der løfter den overliggende lagserie. I nærområdet til lokaliteten (inden for 2 km) er der ikke observeret forkastninger, som gennemskærer Gassum Formationen (forkastninger angivet som stejle hvid streger). Dybde er angivet som seismisk to-vejs-tid i millisekunder. Oppefra og ned er følgende tolkede horisonter vist på figuren: Top kalk (lysilla), Basis af Kalkgruppen (orange), Top Fjerritslev Fm (lilla), Top Gassum Fm (lyserød), Top Vinding Fm (lysegrøn), Top Oddesund Fm (gul), Top Bunter Sandsten Fm (lyseblå), Top Zechstein (lyserød) og Top Pre-Zechstein (turkisgrøn).

5.1.2 Boringsdata

Tabel 5.2 giver en oversigt over tykkelsen af Gassum Formationen i de nærmeste brønde til prognoselokaliteten, som er beliggende inden for en afstand af ca. 19 km fra prognoselokaliteten (Figur 3). Af tabellen fremgår det også, hvor mange meter sandsten (Gross sand), og heraf meter sandsten med gode reservoir egenskaber (Potentielt reservoirsand), formationen er estimeret til at indeholde i brøndene. I afsnit 5.2, og mere udførligt i Geotermi WebGIS portalen, gøres der rede for, hvordan disse størrelser estimeres på baggrund af logdata. Det fremgår af tabellen, at Gassum Formationen varierer betydeligt i

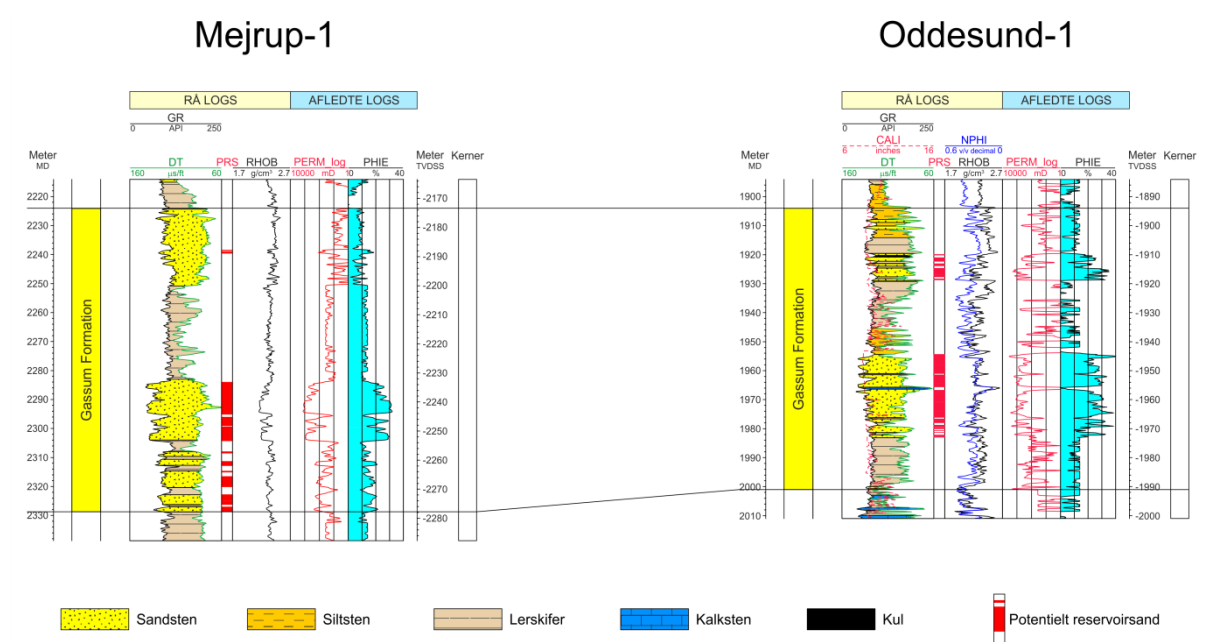
tykkelse mellem brøndene; fra ikke at være til stede i Linde-1 til 105 meter i Mejrup-1. Ved prognoselokaliteten vurderes formationen til at være ca. 105 meter tyk, da de seismiske data som nævnt ikke viser nogen variation i formationens tykkelse fra Mejrup-1 til lokaliteten.

Logdata fra Mejrup-1 er anvendt til at vurdere Gassum Formationens reservoirkvalitet ved prognoselokaliteten, da disse data er af god kvalitet, og fordi brønden kun er beliggende ca. 4 km fra lokaliteten. Formationens top er dog beliggende ca. 620 meter dybere ved prognoselokaliteten end i Mejrup-1. Reservoirdata fra Mejrup-1 kan derved være en anelse for optimistiske i vurderingen af Gassum Formationens reservoirregenskaber ved lokaliteten. Dette er der forsøgt at tage højde for ved at reducere reservoirværdierne fra Mejrup-1 en anelse ud fra en dybe-reservoirværdi relation baseret på kerneanalysedata fra Gassum Formationen fra en række dybe borer (vist i Geotermi WebGIS portalen).

I Mejrup-1 er intervaller med sandsten koncentreret i den nederste og øverste del af Gassum Formationen, hvorimod finkornede sedimenter dominerer i den midterste del af formationen. Dele af sandstenene vurderes at have en stor regional udbredelse (Nielsen 2003), og den sedimentologiske kontinuitet kan derfor betragtes som værende stor. Eksempelvis kan nogle af sandstensintervallerne i Mejrup-1 korreleres til sandstensintervaller i Oddesund-1 i form af sekvensstratigrafiske enheder, men der er også sandstensintervaller, som kiler ud mellem de to brønde (Figur 6). En sådan variation afspejler det oprindelige aflejningsmiljø; eksempelvis blev sand i lange tidsrum tilført det Danske Bassin fra det skandinaviske grundfjeldsområde og aflejret som kystsand langs bassinranden, hvorimod en mere silt- og lerholdig sedimentation tog over ude i de kystfjerne, dybere dele af bassinet. I perioder med lavt havniveau rykkede kysten og de bagvedliggende floder længere ud i bassinet, og som følge heraf kan sandstenslagene i undergrunden have en stor udstrækning, hvis de ikke sidenhen er brudt op af forkastninger.

Tabel 5.2: *Tykkelser af Gassum Formationen, estimerede antal meter sandsten (Gross sand), og heraf meter sandsten med gode reservoirregenskaber (Potentielt reservoirsand), i de nærmeste brønde, hvis placeringer ses på oversigtskortet i Figur 3. Skraverede felter angiver, at reservoirparameteren ikke kan beregnes ud fra de tilgængelige data.*

	Tykkelser/antal meter		
	Formation	Gross sand	Potentielt reservoirsand
Mejrup-1	105	33	27
Linde-1	Ikke til stede	-	-
Vinding-1	51		
Vemb-1	58	14	
Oddesund-1	97	46	37



Figur 6: Sammenligning af Gassum Formationen i Mejrup-1 og Oddesund-1, som er placeret ca. 21 km fra hinanden (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. MD: Målt dybde fra referencepunkt på boreplatform (venstre dybdeskala), TVDSS: Vertikale dybde under havniveau (højre dybdeskala).

5.2 Reservoirkvalitet

Som der er gjort rede for i de foregående afsnit, tager vurderingen af mængden af sandsten i Gassum Formationen ved prognoselokaliteten udgangspunkt i data fra Mejrup-1. Dybdeintervallet for Gassum Formationen i denne brønd ses i Tabel 5.3, hvor det også fremgår, at der i flere niveauer er udtaget sidevægskerner fra formationen men ingen konventionelle kerner.

Selve vurderingen af formationens lithologi og reservoirkvalitet ved prognoselokaliteten bygger på en tolkning af borehulslogs kombineret med eksisterende beskrivelser af sidevægskerner og borespåner fra Mejrup-1 (Phillips 1987). De optagne og tolkede logs i Mejrup-1 er nærmere beskrevet i Tabel 5.4.

De tolkede reservoirtæthedsværdier for Gassum Formationen i Mejrup-1 ses i Tabel 5.5. Usikkerheden på de angivne estimer bygger på en generel og erfaringsmæssig vurdering af tolknings-usikkerheden ved de forskellige typer af data (borehulslogs, porøsitet-permeabilitets sammenhænge etc.). Ved sammenligning af tabellen med Tabel 3.1 fremgår det, at usikkerheden på reservoirtæthedsværdierne ved prognoselokaliteten er større end de angivne usikkerheder på reservoirtæthedsværdierne for Mejrup-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 Formation i Mejrup-1 med tilhørende kommentarer om tilgængeligt kernemateriale fra formationen.*

Brønd	Dybdeinterval [m MD]	Kerner [m MD]	Sidevægskerner [m MD]
Mejrup-1	2224–2329	Ingen	I ca. 13 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
Resistivitetslogs/ 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 modstandsslog 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 re-servoirsand (PRS)	PRS	m	Log-udledt kurve ("flag") der indikerer, hvor der er potentielt reservoirsand (PRS)

Tabel 5.5: *Estimerede reservoirværdier for Gassum Formationen i Mejrup-1 brønden.*

Mejrup-1			
Gassum Formationen	Estimeret værdi	Vurderet usikkerhed ¹	Usikkerheds- interval ²
			[MinCase - MaxCase]
Makro reservoirparametre			
Dybde til top af formation [m.u.h.]	2177	1 ³	2155–2199 ³
Tykkelse af formation [m]	105	1 ³	104–106 ³
Andel af sandsten i formationen			
Tykkelse af Gross sand [m]	33	5 ³	32–35 ³
Tykkelse af Potentielt reservoirsand ⁴ [m]	27	5 ³	26–28 ³
Potentielt reservoirsand/formation ⁵	0,26	5 ³	0,25–0,27 ³
Potentielt reservoirsand/Gross sand ⁶	0,81	5 ³	0,77–0,85 ³
Vandlevende egenskaber (reservoirsand)			
Porøsitet [%]	23	5 ³	22–24 ³
Gas-permeabilitet [mD]	450	4 ⁷	113–1800 ⁷
Reservoir-permeabilitet ⁸ [mD]	563	4 ⁷	141–2252 ⁷
Reservoir-transmissivitet (Kh) ⁹ [Dm]	15	4 ⁷	4–60 ⁷
Tekstur og cementering (sandsten)		Vurdering	
Kornstørrelse/sortering/afrundingsgrad		Meget fin til mellem kornstørrelse, i enkelte niveauer også grovkornet; ringe sorteret til velsorteret; subkantede til afrundede korn	
Diagenese/cementering		Svagt til mellem cementeret, svagt kalkholdige til kalkholdige, i enkelte niveauer meget kalkholdige	

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.

På baggrund af logdata og eksisterende beskrivelser af opboret materiale og udtagne sidevægskerner fra Mejrup-1 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 og 7). Borespåne- og kernebeskrivelserne understøtter log-tolkningen, og desuden fremgår det af beskrivelserne, at sandstenene i formationen hovedsageligt varierer i kornstørrelse fra fin til mellem, men at de i enkelte niveauer også kan være grovkornede (Phillips 1987). Sandstenene beskrives desuden som værende ringe til velsorterede med subkantede til afrundede sandskorn. De er endvidere svagt til mellem cementeret og generelt svagt kalkholdige til kalkholdige.

The image displays a detailed geological log for the Gassum Formation. The vertical axis represents depth in meters, ranging from 2220 to 2330. The log includes several tracks: GR (Gamma Ray), DT (Delta Time), PRS (Pore Pressure), RHO (Density), PERM (Permeability), log (Logarithmic), and PHIE (Porosity). The lithology is indicated by a color-coded bar on the right, showing Sandsten (yellow), Lerskifer (brown), and Potentielt reservoirsand (red). The Gassum Formation is labeled on the left side of the log.

G E U S

5.2.2 Vurdering af tykkelser, lerindhold og porøsitet

I Mejrup-1 er Gassum Formationen 105 meter tyk, hvoraf Gross sand udgør ca. 33 meter (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 fratrasket baggrundsstrålingen (Tabel 5.6).

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 på mindre end 30 %. Ud fra disse kriterier er mængden af Potentielt reservoirsand vurderet til ca. 27 meter i Gassum Formationen. Den gennemsnitlige porøsitet af reservoir-sandet er ud fra log-tolkning bestemt til ca. 23 % (Tabel 5.5). Porøsitetstolkningen i Mejrup-1 er tolket ud fra en ler-korrigeret densitets-log, og der er anvendt en sandstens densitet på $2,65 \text{ g/cm}^3$ svarende til densiteten for ren kvarts.

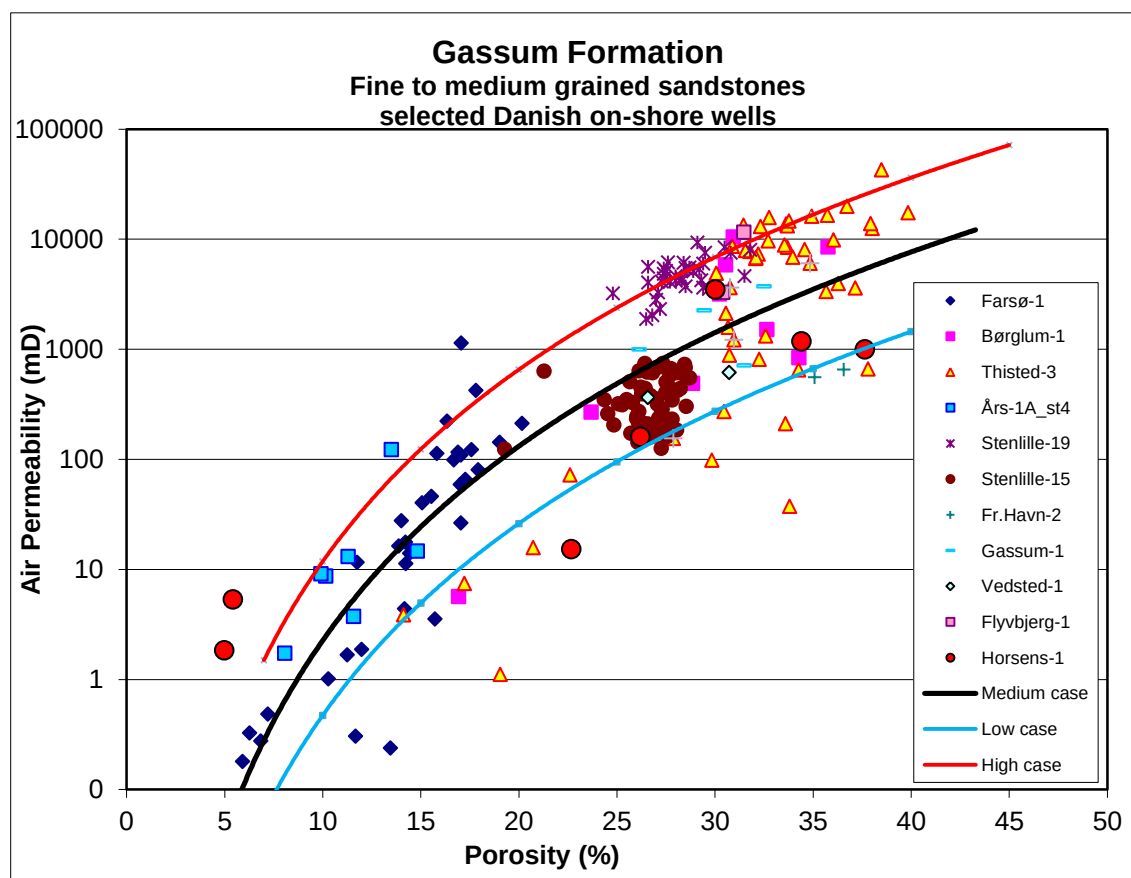
Tabel 5.6: Responsparametre for Gamma (GR) log optaget i Mejrup-1 boringen.

Responsparametre for gamma (GR) log	GR_min (baggrundsstråling)	GR_max (respons for rent ler)
Mejrup-1	55	105

5.2.3 Permeabilitet

GEUS har bestemt en sammenhæng mellem kerne-permeabilitet og porøsitet i Gassum Formationen. Denne porøsitet-permeabilitetsrelation er baseret på kerneanalysedata fra en række danske landboringer beliggende i Jylland og på Sjælland (Figur 8). GEUS forventer, at denne landsdækkende korrelation også gælder for Holsterbro-Struer-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. 450 mD for Mejrup-1. Dette svarer til en reservoir-permeabilitet på omtrent 563 mD. Beregningen af reservoir-permeabiliteten bygger på en opskalering af de laboratorie-bestemte gas-permeabiliteter til reservoirforhold efterfulgt af omregning til væske-permeabilitet. Mejrup-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 8, og herudover er tidligere foretagne vurderinger af Gassum Formationen udenfor studieområdet udnyttet. Derimod blev et sandstensinterval i Gassum Formationen prøvepumpet i Oddesund-1 i dybdeintervallet 1958–1970 meter, og tolkningen af de indsamlede testdata peger på en høj permeabilitet på 500–2000 mD. Dette permeabilitetsniveau er forment-

lig repræsentativt for et større område, og ikke kun et lokalt fænomen nær Oddesund-1 boringen. Den store dybde til Gassum Formationen ved prognoselokaliteten indebærer dog en risiko for, at diagenetiske processer, relateret til høje tryk- og temperaturforhold, har formindsket formationens reservoirgenskaber i dette område.



Figur 8: 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").

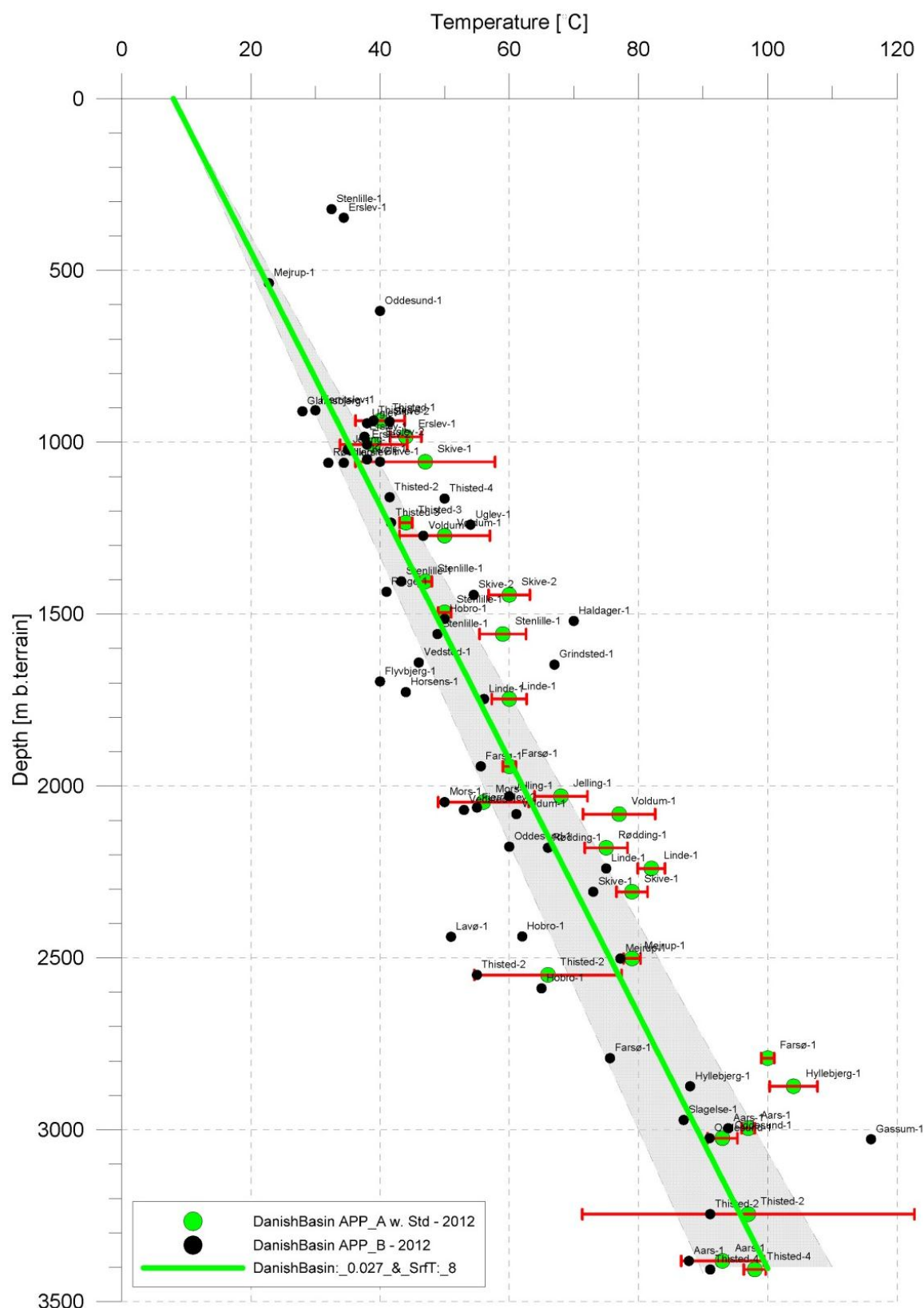
5.2.4 Transmissivitet

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 erfarings-baseret opskalering. Transmissiviteten er således en forventet reservoir-transmissivitet; denne er vurderet til ca. 15 Darcy-meter i Mejrup-1 og efter en dybdekorrektur til ca. 11 Darcy-meter ved prognoselokaliteten. På baggrund af det tilgængelige datamateriale vurderer GEUS, at usikkerheden på den forventede transmissivitet ved prognoselokaliteten mest hensigtsmæssigt kan beskrives ved en dividere/gange faktor på 5; svarende til at dividere, henholdsvis gange, den estimerede transmissivitet med denne faktor. Faktoren

indeholder en samlet usikkerhed knyttet til estimeringen af permeabiliteten og tykkelsen af Potentielt reservoirsand samt til ekstrapolering af boringsdata til prognoselokaliteten.

5.3 Temperatur

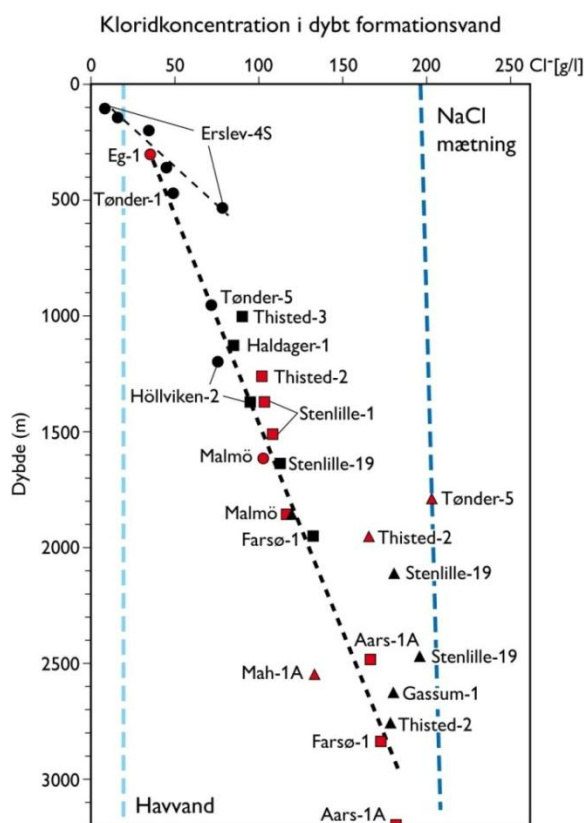
Temperaturen i midten af Gassum Formationen ved prognoselokaliteten er vurderet til 86 °C ± 10 % ud fra en generel dybde-temperatur relation for det Danske Bassin. Relationen baserer sig på temperaturmålinger i dybe borer i bassinet og er givet ved: $Temp. = 0,027 * dybde + 8 \text{ °C}$ (Figur 9). Ved prognoselokaliteten er dybden i ligningen sat til 2889 meter og er baseret på den estimerede dybde fra havniveau til toppen af formationen (2800 meter; se Tabel 3.1) tillagt terrænkote (36 meter) og estimerede antal meter fra top til centrum af formationen (ca. 53 meter).



Figur 9: 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). Det fremgår af figuren, at temperaturmålingerne fra Mejrup-1 ligger inden for 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 10). Ud fra relationen må der forventes en kloridkoncentration på ca. 177 g/l i en dybde af 2889 meter under terræn svarende til ca. midten af Gassum Formationen ved prognoselokaliteten. Kloridkoncentrationen er dermed lavere end mætningspunktet for NaCl, der ligger på omkring 208 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 10: 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

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.

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.

Phillips 1987: Mejrup-1. Completion report.

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.