

Vurdering af potentialet for geologisk varmelagring (UTES) - Guldborgsund området

HEATSTORE

Anders Juhl Kallesøe & Mette Hilleke Mortensen

Vurdering af potentialet for geologisk varmelagring (UTES) - Guldborgsund området

HEATSTORE

Anders Juhl Kallesøe & Mette Hilleke Mortensen

Indhold

1.	Introduktion	6
1.1	Baggrund.....	7
2.	Guldborgsund området	8
2.1	Introduktion til området.....	8
2.2	Interessenter	8
2.3	UTES teknologier i fokus.....	9
2.4	Dataoverblik.....	12
2.5	Geologisk ramme	14
3.	Geologisk og hydrogeologisk tolkning	19
3.1	Tolkning af geologi i interesseområde	19
3.2	Grundvandet og vandkemi	24
4.	Vurdering af UTES varmelagringspotentiale	27
4.1	(HT)-ATES.....	27
4.2	BTES	28
4.3	Anbefalinger til mulig dataindsamling	29
5.	Referencer	30

English Summary

Within the EU GEOTHERMICA project HEATSTORE, a survey of interests in Underground Thermal Energy Storage (UTES) technologies has been carried out among c. 400 district heating (DH) utilities in Denmark. The outcome of this survey is a first national overview of utilities considering seasonal heat storage of surplus heat from e.g. waste combustion, sun collectors, bio-gas, industry etc. Based on the survey results, a follow-up dialog has taken place with a net selection of utilities with an actual interest in Aquifer-, Borehole- or Pit Thermal Energy Storage (ATES, BTES or PTES) and with access to a present excess heat source.

This report considers the possibilities for UTES in the Municipality of Guldborgsund situated in the south-eastern part of Denmark. The local DH utility has initially recognized a considerable amount of surplus heat from a waste combustion and biomass facility, that potentially could be stored during the summer period, and thereby be implemented as an integrated part of the DH supply in the future. In the area a thick sequence of limestones and chalk is found near the surface only overlain by a thin cover of glacial deposits. The chalk and limestones are expected to be fractured partly by glacial processes partly by deeper faults that have been identified from seismic data. Similar geological settings are found in many parts of Denmark and therefore some general conclusions of this study are expected to be valid also in such areas.

The aim of this report is to evaluate the potential for both High Temperature ATES (HT-ATES) and BTES in the upper subsurface (c. 0-300 m) in the Guldborgsund area. The study is focusing on an area, east of the town Nykøbing F., which is close to the DH facilities. A vast amount of existing geological and geophysical data especially from a major national groundwater mapping program from 1999-2015 as well as the national borehole database (Jupiter) has been used in the evaluation.

In and around the study area a 10-20 m thick sequence of Quaternary deposits is found. The sediments are dominated by clay tills with local deposits of meltwater sands towards east. Below the glacial deposits we find chalk formations down to around 400 m's of depth. The chalk is soft to very soft and with varying content of flint nodules. Boreholes and geophysics indicate local variations in the density of fractures and thereby also permeability. In general deformation and erosion by glaciers throughout the ice ages have probably caused fracturing of both glacial deposits and the upper part of the chalk. In areas of mapped faults lines, fresh water seems to have washed out old saline water to depths below 100 m. Areas outside the identified fault systems appears to be more homogeneous and containing salty pore water rather than fresh water.

The drinking water supply in Denmark is based on clean groundwater and only simple water treatment and protection of groundwater aquifers for drinking water must be given high priority in the evaluation of the UTES potential.

The eastern part of the study area is designated as an area of drinking water interests, while the town area within Nykøbing F. is not, which is probably due to an increased content of chloride near the coast.

Because (HT)-ATES in the chalk depends on a sufficient secondary permeability within the rock, the fracture zones found in relation to fault lines are believed to hold a certain potential and could be a suitable target for further investigations. Furthermore, they are located rather close to one of the CHP plants producing surplus heat. More data is, however, needed to identify the actual potential.

The potential for BTES depend on the degree of groundwater flow, near surface groundwater levels, and suitable areas for a storage facility. Areas of unfractured chalk with an expected low permeability are found in some parts of the Guldborgsund area with a thin cover of Quaternary deposits. A limiting factor based on the existing data are found to be a shallow groundwater table and expected groundwater flow. Also, areas of unfractured chalk and clay do not seem to be present in close distance to the primary sources of surplus heat in the area.

1. Introduktion

GEUS og PlanEnergi deltager sammen med en række andre europæiske partnere i projektet HEATSTORE (www.heatstore.eu) som er støttet af det danske EUDP program og EU-programmet GEOTHERMICA.

Den danske del af HEATSTORE projektet har blandt andet til formål at udforske potentialet for varmelagring i undergrunden (Underground Thermal Energy Storage, benævnt UTES) i Danmark og bidrage med vigtig og nødvendig viden i forhold til vurdering af mulighederne.

Vi definerer i HEATSTORE geologisk lagring af varme som en af følgende tre teknologier:

- Akviferlagring (eller Aquifer Thermal Energy Storage, ATES) herunder:
 - o Høj-Temperatur ATES, HT-ATES, 60°C - 90°C
 - o Medium-Temperatur ATES, MT-ATES, 30°C - 60°C
 - o Lav-Temperatur ATES, LT-ATES, <30°C
- Borehulslag (eller Borehole Thermal Energy Storage, BTES)
- Damvarmelagre (eller Pit Thermal Energy Storage, PTES)

GEUS har tidligere sammen med en række danske partnere i et EUDP-projekt om varmelagring gennemført en første overordnet screening af mulighederne for geologisk lagring af varme i Danmark (Ditlefsen et al., 2019). Baseret på input fra en interessentundersøgelse er der i HEATSTORE projektet mulighed for mere indgående geologisk karakterisering af undergrunden i udvalgte områder med fokus på de nævnte varmelagringsteknologier. Denne rapport omfatter en del af dette arbejde, og vil kunne understøtte den videre beslutningsproces hos aktører med interesse i varmelagring i undergrunden.

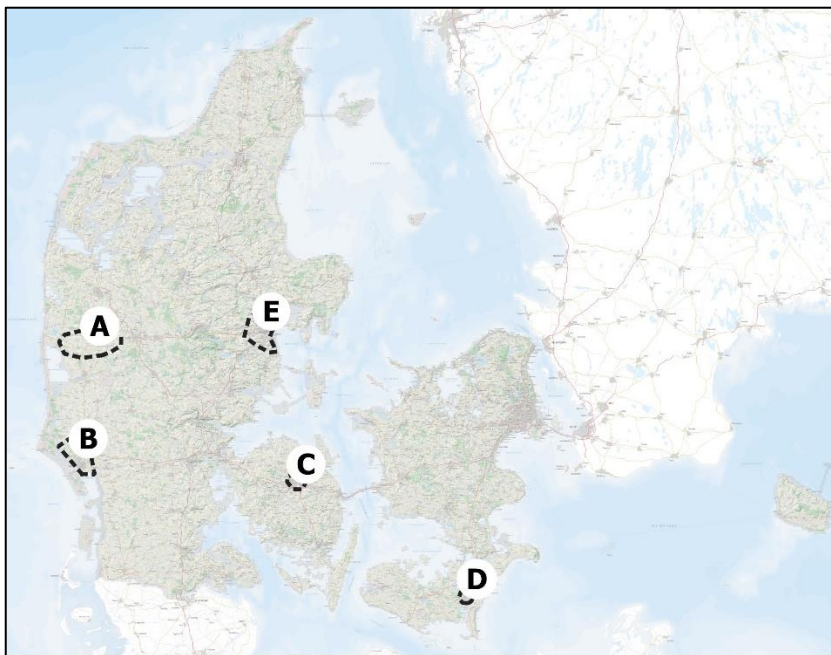


1.1 Baggrund

I regi af HEATSTORE gennemførte GEUS i 2019 en spørgeskemaundersøgelse blandt ca. 400 danske fjernvarmeselskaber om interesse og planer for etablering af anlæg til geologisk lagring af varme. Spørgeskemaet blev besvaret af 82 selskaber, og disse besvarelser har dannet grundlag for gruppering og udvælgelse af interessent-områder med forskelligartet og repræsentativ geologi (ca. 0-300 m's dybde) på tværs af Danmark. Bevæggrundene for udvælgelse af lokaliteter har blandt andet været, hvorvidt der er tilkendegivet et reelt ønske fra adspurgte forsyninger om energilagring i større skala, og konkrete overvejelser af BTES, ATES eller PTES som en mulighed. Ligeledes er nuværende eller forventet nærhed til mulige kilder til overskudsvarme vægtet højt.

Det er ud fra ovenstående vurderet relevant at arbejde videre med fem overordnede inddelinger, der bredt imødekommer de førnævnte kriterier for udvælgelse. Her gennemføres en vurdering af potentialet for UTES ud fra eksisterende data og viden:

- A. **Miocæne aflejringer i dele af Vest- og Midtjylland.** Nærmere undersøgelse af de miocæne aflejringer i et udvalgt område i Vest/Midtjylland
- B. **UTES potentiale ved Esbjerg.** Nærmere undersøgelse af geologien under Esbjerg, hvor undergrunden udgøres af kvartære og miocæne aflejringer
- C. **UTES potentiale ved Odense.** Nærmere undersøgelse af geologien under Odense, hvor undergrunden udgøres af kvartære sedimentter der overlejrer mergel og kalk
- D. **Regionale områder med kalk og kridt tæt på overfladen.**
Nærmere undersøgelser af område ved Nykøbing Falster og Guldborgsund, hvor kalk og kridt aflejringer findes overfladenært
- E. **Aarhus.** I samarbejde med EU-projektet MUSE (<https://geoera.eu/projects/muse3/>) undersøges potentialet for overfladenær geotermi og geologisk varmelagring i og nær Aarhus by



Figur 1.1. Oversigt over udvalgte lokaliteter.

2. Guldborgsund området

2.1 Introduktion til området

Der er fra energiforsyningen REFA Energi, det største energiselskab på Lolland-Falster, tilkendegivet et behov og ønske om lagring af overskudsvarme, som et potentielt fremtidigt bidrag i fjernvarmeforsyningen. Interessen for at sæsonlagre og udnytte eventuel overskudsvarme gør det derfor relevant at undersøge, hvorvidt geologisk varmelagring bør tages i betragtning som en potentiel teknologi fremadrettet.

I nærværende rapport er der gennemført en sammenstilling af eksisterende geologisk viden med henblik på at beskrive de lokale geologiske forhold i relation til geologisk varmelagring (BTES og (HT)-ATES). Sammenstillingen bygger på en indledende overordnet national screening gennemført i et tidligere EUDP-projekt (Ditlefsen et al., 2019).

Der er ikke indsamlet nye data i forbindelse med denne geologiske sammenstilling. Nye målrettede data vil derfor kunne give et forbedret fagligt grundlag til at be- eller afkræfte nogle af de forbehold som vil være til stede i den geologiske tolkning.

2.2 Interessenter

Den største interessent i området er REFA Energi, der ejer og driver flere kraftvarmeverker og fjernvarmeforsyninger på Falster og Lolland (Maribo-Sakskøbing Kraftvarmeverk, REFA Horbelev Fjernvarme A/S, REFA Stubbekøbing Fjernvarme A/S, REFA Kettinge Forsyning ApS, REFA Gedser fjernvarme A/S, og Holeby Fjernvarme Amba).

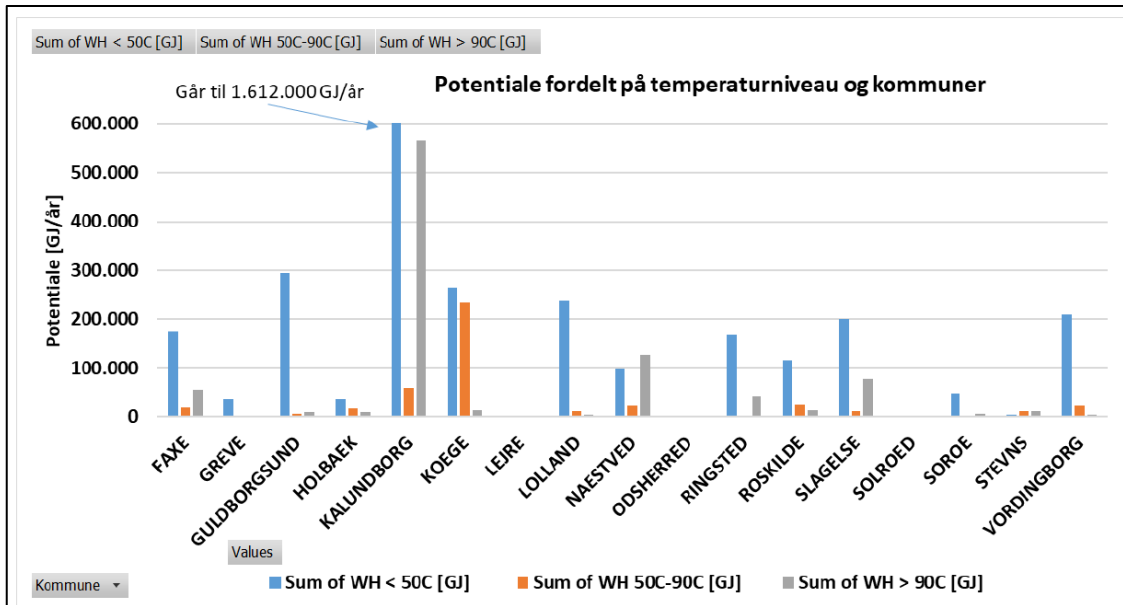
I Nykøbing F. driver REFA Energi et kraftvarmeverk baseret på bl.a. træflis, halm og andre CO₂ neutrale brændsler (refaenergi.dk), og i sommerhalvåret er der en betydelig mængde overskudsvarme fra værket som ikke udnyttes.

Sukkerproducenten Nordic Sugar lokaliseret i Nykøbing F. er også inddraget som interessent. Produktionen af sukker fra roer afføder store mængde spildvarme som potentielt kan lagres og udnyttes i fjernvarmeforsyningen året rundt.

2.2.1 Vurderet lagringsbehov

REFA Energi ser et potentiale i at lagre overskudsvarme fra bl.a. kraftvarmeverket i Nykøbing F., hvor op imod 30.000 MWh spildvarme årligt ikke udnyttes i fjernvarmesystemet. Sæsonlagring af en del af denne overskudsvarme i undergrunden vil afhængig af varmepriser mv. potentielt være en god business case.

Gate21 (partnerskabet for grøn omstilling) har i 2018 fået firmaet Viegand Maagøe til at undersøge potentialet for overskudsvarme i kommunerne i Region Sjælland. I Guldborgsund kommune er der estimeret et potentiale på 300.000 GJ/år lavtemperatur (<50°C) overskudsvarme, se Figur 2.1. Dette svarer til mere end 83.000 MWh årligt, som potentiel kan lagres, og alene Nordic Sugar i Nykøbing F. er i rapporten vurderet til ca. 30 MW i temperaturniveauet under 50°C i 110 døgn om året, svarende til ca. 79.000 MWh/år (Viegand Maagøe 2018). Overskudsvarmen findes dog fra produktionen af sukker, som overvejende sker i perioden oktober til januar.



Figur 2.1. Potentiale i overskudsvarme fordelt på temperaturintervaller og kommuner. Fra (Viegand Maagøe 2018).

2.3 UTES teknologier i fokus

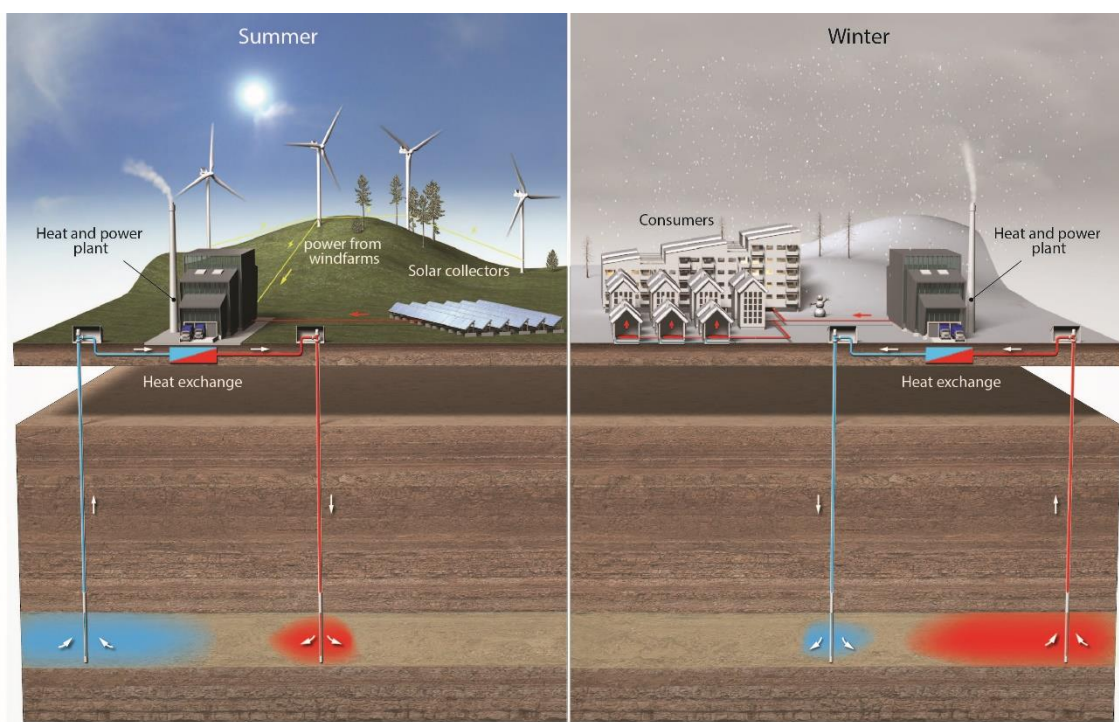
I HEATSTORE undersøges potentialet for (HT)-ATES, BTES og PTES i de europæiske partnerlande. I det følgende gives en kort introduktion af de enkelte teknologier.

2.3.1 ATES (Akvifer lagring)

ATES eller akviferlagre udnytter grundvandsmagasiner i undergrunden som varmelager. Varmelagring ved ATES teknologien sker ved injektion og senere oppumpning af varmt vand i grundvandsmagasiner – både i dybtliggende og mere terrænnære magasiner. Vand har en høj varmekapacitet, men effektiviteten af ATES afhænger i høj grad af magasinets hydrauliske ledningsevne og boringernes tekniske ydeevne samt til en vis grad af isolerende lag over og under magasinet. Magasinerne kan potentielt udgøres af ukonsoliderede sandenheder, porøse formationer som sandsten og kalk eller opsprækkede klippeformationer. Dybereliggende magasiner giver mulighed for høj-temperatur lagring (HT-ATES), hvilket typisk defineres som anlæg med injektionstemperaturer på >60°C.

I grundvandmagasiner i de øverste få hundrede meter af undergrunden er det typisk kun tilladt at lagre ved lavere temperaturer (LT-ATES), se nærmere i den gældende bekendtgørelse i Danmark ([link](#)), hvor den gældende maksimale injektionstemperatur er 25°C. I Holland har man erfaringer med flere anlæg, bl.a. også et HEATSTORE pilotanlæg, der lagrer varmt vand med temperaturer på 30-60°C (medium-temperatur, MT-ATES). Der er i Danmark endnu ikke etableret et høj-temperatur anlæg. Der er udført et enkelt teststudie af et ATES anlæg med lagringstemperaturer på 30-35°C (Miljøstyrelsen 2016).

Nedenstående Figur 2.2 illustrerer princippet ved ATES sæsonlagring i et fjernvarmenetværk. I sommerperioden vil f.eks. solfangere tilføre produceret overskudsvarme til akvifer-lageret. Varmen lagres så til vinterperioden, hvor den indgår i fjernvarmeforsyningen. Store varmepumper kan installeres til at hæve temperaturen i systemet yderligere, afhængig af lagertemperaturen.



Figur 2.2. Principskitse for sæsonlagring af varme ved anvendelse af ATES i et fjernvarme-netværk (GEUS).

De vurderede årlige lagerkapaciteter for eksisterende HT-ATES systemer ligger fra <2.000 MWh og op til ca. 20.000 MWh (se nærmere i HEATSTORE [Rapport D1.1](#) om UTES, Kalle-søe & Vangkilde-Pedersen, 2019).

2.3.2 BTES (borehulslager)

BTES eller borehulslagere anvender jordlegemets naturlige varmekapacitet til lagring af varme. Det kan ske i ukonsoliderede jordlag (ler og sand) eller kalk, som i hovedparten af Danmark, eller i hårde bjergarter (grundfjeld, Bornholm). Princippet i BTES er at opvarme undergrunden og herefter nedkøle den igen ved cirkulation af brine (kølevæske) i varmevekslere i form af slanger installeret i såkaldte lukkede jordvarmeboringer der placeres i en valgt designkonfiguration. Varmevekslerne i borerne er cementeret i forseglingsmateriale

(benævnt grout), og borerne vil typisk afsluttes indenfor 20-200 m's dybde afhængig af forholdene i undergrunden og lagerstørrelsen. Der kan lagres i jorden ved temperaturer på op til ca. 90°C, og BTES kan dermed benyttes til lagring af overskudsvarme fra industri, affaldsforbrænding, og varme fra vedvarende energikilder, såsom solfangere, til direkte implementering i fjernvarmen.

BTES er således en velegnet teknologi til at integrere varme fra forskellige varmekilder, f.eks. varmepumper, solfangere og kraftvarmeverker i flerstrengede energisystemer, samt evt. udnytte "power to heat" i perioder med overskud af el-produktion.

Jordens relativt lave varmeledningsevne betyder, at et BTES-lager reagerer forholdsvis trægt, hvilket medfører et behov for installation af et bufferlager (vandtank) til at imødekomme en hurtig respons til varmenettet. "Formen" og dermed varmeudbredelsen af et BTES lager defineres af den indbyrdes placering og dybde af borerne. Formen har desuden sammen med den lokale grundvandstrømning og jordens varmeledningsevne betydning for varmetabet til omgivelserne fra et BTES-lager (Sibbitt & McClenahan, 2015). God viden om de hydrauliske og termiske egenskaber af jordlagene og overvejelser om isolering mod terræn for at mindske varmetab til overfladen er derfor essentielt.

De vurderede årlige lagerkapaciteter for eksisterende BTES systemer ligger fra <500 MWh til ca. 3500 MWh. Det eneste BTES system i Danmark ligger i Brædstrup og har en vurderet lagringskapacitet på 616 MWh, og udgøres af 48 borer til 45 m's dybde (se nærmere i HEATSTORE [Rapport D1.1](#) om UTES, Kallesøe & Vangkilde-Pedersen, 2019).

2.3.3 PTES (Damvarmelagre)

PTES eller damvarmelagre er lagring af varmt vand i store udgravede bassiner med et isolerende låg. Siderne og bund af lageret er typisk dækket af en polymer-liner, men kan også udgøres af beton. Der kan lagres vand med temperaturer på op til 90°C og damvarmelagre giver samme fleksibilitet til f.eks. et fjernvarmenetværk som BTES. De store fordele ved damvarmelagre er muligheden for hurtig "opladning" og "afladning" i korte varmelagringsperioder, da vand er et godt lagringsmedie grundet en høj varmekapacitet.

Damvarmelagre er uafhængige af den dybere geologi, men den terrænnære geologi, grundvandstrømning og tilgang til grundvand til opfyldning af lageret er alle relevante parametre som skal undersøges (se nærmere i HEATSTORE [Rapport D1.1](#) om UTES, Kallesøe & Vangkilde-Pedersen, 2019). De vurderede lagerkapaciteter for eksisterende damvarmelagre ligger på ca. 5.000-12.000 MWh.

2.3.4 Geologiske fokuspunkter

Der er flere parametre, som skal undersøges nærmere i vurderingen af det geologiske varmelagringspotentiale i det aktuelle område ved Guldborgsund, se Tabel 2.1 nedenfor. Nærværende rapport fokuserer på ATES og BTES, mens PTES er mere afhængig af forhold på overfladen og derfor ikke beskrives nærmere.

Tabel 2.1. Fokuspunkter i den geologiske udredning. Grøn farve markerer højt fokus.

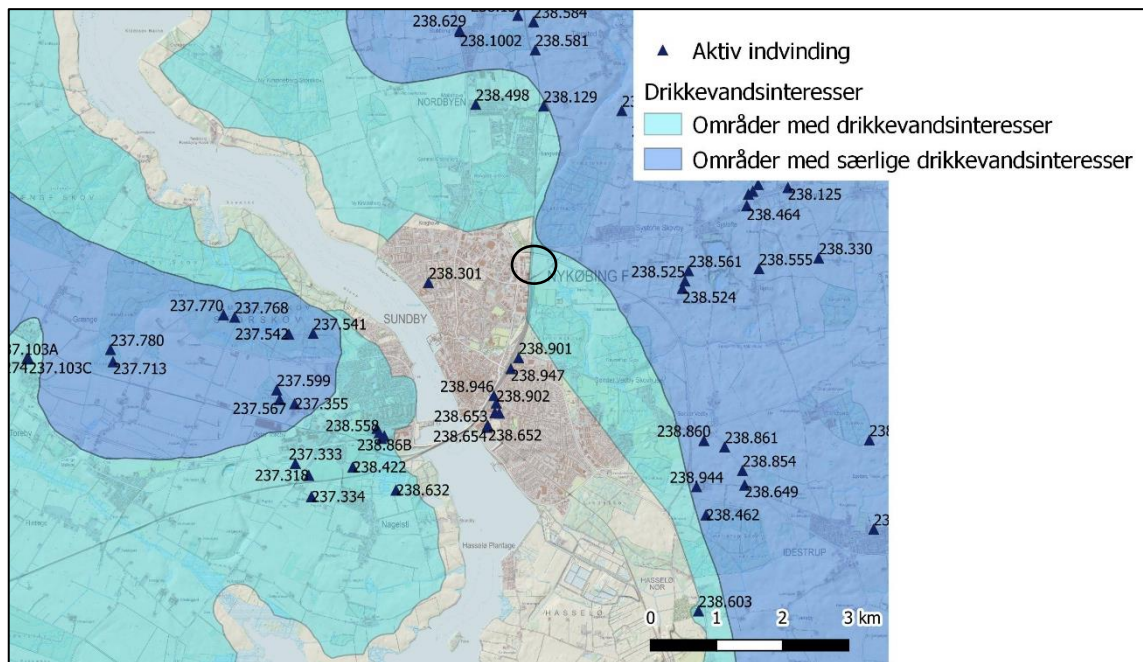
Fokuspunkter	(HT)-ATES	BTES
<i>Geologien i 0-300 m's dybde</i>		
<i>Forkastningszoner, begravede dale</i>		
<i>Sammensætning af de kvartære sedimenter</i>		
<i>Områder med en tyk umættet zone</i>		
<i>Karakteristika for Skrivekridt (kortlægning af sprækkezoner)</i>		
<i>Tykkelse og udbredelse af eventuelle magasiner</i>		
<i>Drikkevandsinteresser</i>		
<i>Grundvandskemi og -kvalitet</i>		
<i>Eksisterende kendskab til magasinydelse</i>		

Administrative punkter relateret til lovgivning og forhold på overfladedelen kræver ligeledes opmærksomhed. Dette behandles ikke nærmere i nærværende rapport, hvis fokus er de geologiske og hydrogeologiske forhold.

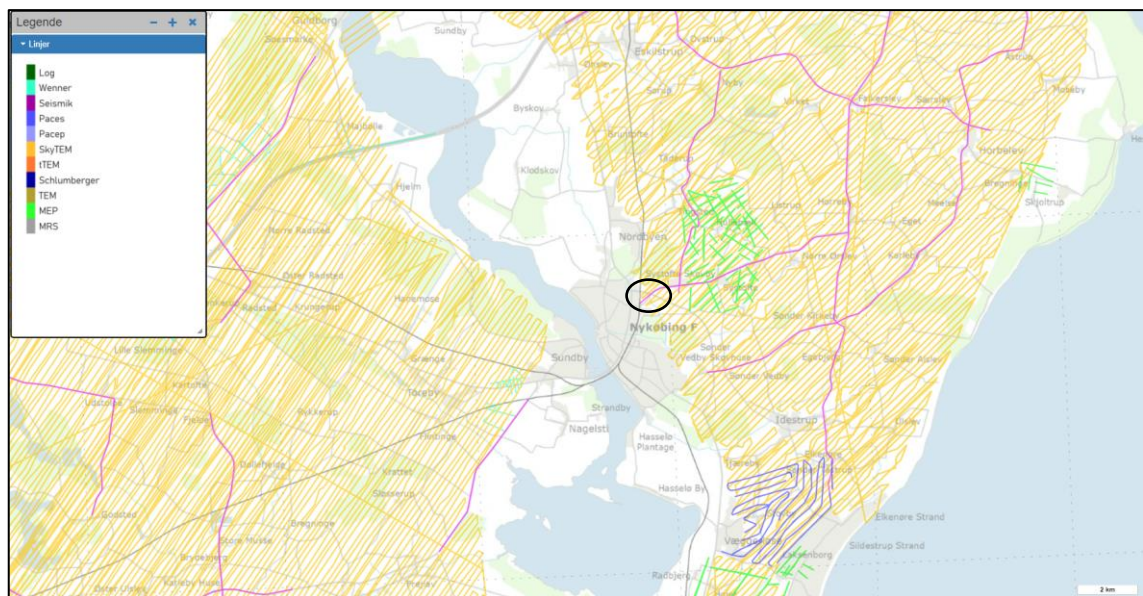
Området ved Guldborgsund har visse ligheder med Københavnsområdet, hvor undergrunden også er præget af kalk og kridtbjergarter. I et EUDP støttet F&U projekt blev der i 2016-2017 gennemført et fagligt studie af undergrunden ved København for at undersøge mulighederne for varmelagring i kalkgruppen (Baunsgaard et al., 2018). I studiet blev der gennemført en sammenstilling af eksisterende data med henblik på at identificere områder i kalken med tilstrækkelig opsprækkethed og permeabilitet så der potentielt kan foretages lagring af betydelige volumener varmt vand i undergrunden. Hovedkonklusionen i rapporten var nødvendigheden af en testboring til at give en bedre indsigt i sammensætning af kalkaflejringerne (se [HTES rapport](#)).

2.4 Dataoverblik

Datagrundlaget til vurdering af geologien i Guldborgsund området udgøres af boringer i [Jupiter](#) databasen, geofysiske data i [Gerda](#) databasen og geofaglig litteratur fra området. På nedenstående Figur 2.3 er vist aktuelle vandforsyningsboringer med DGU nr. (boringer tilknyttet almene vandforsyninger og øvrige større indvindere). Dette giver et overblik over, hvor indvindingen af drikkevand og industrivand sker. Ligeledes er vist de områder, som af Miljøstyrelsen, er udpeget til områder med drikkevandsinteresser (OD) og områder med særlige drikkevandsinteresser (OSD).



Figur 2.3. Oversigt over aktive vandindvindingsboringer og gældende udpeging af områder med drikkevandsinteresser (OD) og særlige drikkevandsinteresser (OSD) i det aktuelle fokusområde. Sort cirkel viser fokusområde.



Figur 2.4. Overblik over geofysiske data tilgængelige ved Guldborgsund. Legende for datatype ses øverst til venstre. Området er generelt godt dækket af SkyTEM (gule linjer), og flere seismiske linjer især på Falster (lilla linjer). Sort cirkel viser fokusområde.

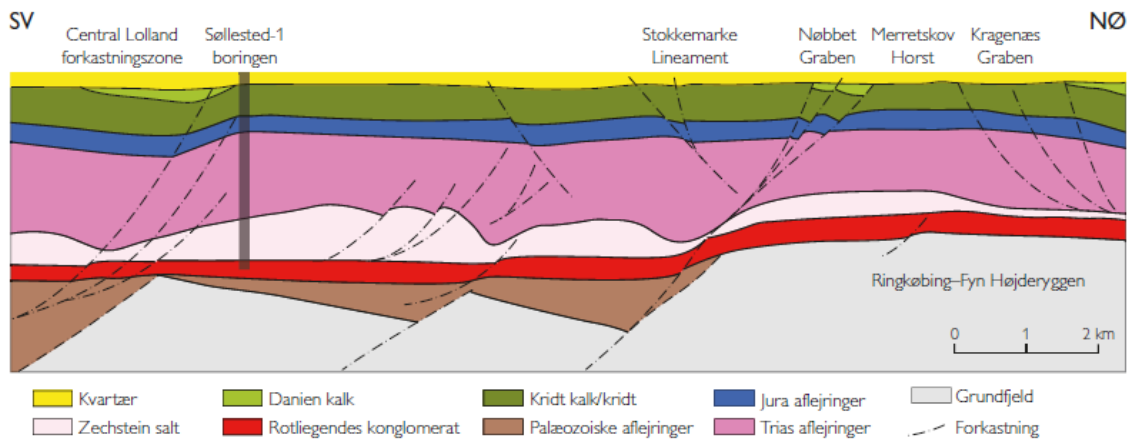
Figur 2.4 viser de eksisterende geofysiske data, der primært er indsamlet i forbindelse med kortlægning af grundvandsressourcer, sårbarhedskortlægning (kortlægning af beskyttende øvre lerlag) og kortlægning af overfladenære råstofforekomster (sand, grus, ler, kridt). Især TEM/SkyTEM data giver informationer om overgangen fra kvartæret til det prækvartære Skrivekridt, og hvorvidt grundvandet internt i kridtet er ferskvand eller saltvand. Der er generelt en god datadækning af SkyTEM undtagen bynært ved Nykøbing F., og områderne kystnært langs Guldborgsund. Her vil den geologiske vurdering overvejende basere sig på boringsdata. På Falster er der i 2011 indsamlet seismiske data, der giver indblik i forkastningszoner, som har påvirket Skrivekridtet og til dels Kvartæret (Rambøll 2011).

2.5 Geologisk ramme

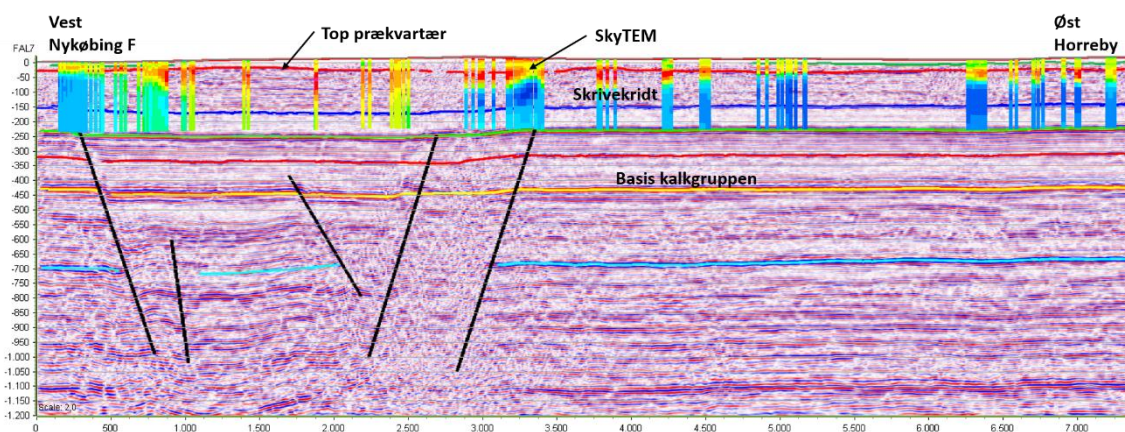
2.5.1 Strukturel ramme

Området ved Guldborgsund og Nykøbing F. er lokaliseret ved den østlige del og sydsiden af en VNV-ØSØ til NV-SØ orienteret højderyg med højtliggende grundfjeld kaldet Ringkøbing-Fyn højderyggen. Tektonisk aktivitet omkring denne struktur har medført forkastninger i den dybe lagserie, der også ses i den terrænære del af geologien i området – nemlig Skrivekridtet.

På Figur 2.5 ses en geologisk principskitse for Lolland gående fra SV mod NØ, mens Figur 2.6 viser et V-Ø orienteret seismisk profil på Falster umiddelbart vest for Nykøbing F. Begge profiler illustrerer godt, at kalk/kridt aflejringer findes tæt på terræn, samt at kalkgruppen og den dybere lagserie er påvirket af flere forkastningszoner (se sorte og stiplede linjer på profilerne).



Figur 2.5. Geologisk principskitse for den dybe geologi på Lolland. Det ses, at forkastningsaktiviteter kan helt op i den øvre lagserie (Pedersen et al., 2015).



Figur 2.6. V-Ø orienteret seismisk profilinje fra Falster med modelstave for SkyTEM. Sorte linjer angiver forkastninger tolket på baggrund af seismikken. Basis kalk og kridt ses ca. i kote 430 m, markeret med orange linje (Rambøll 2011).

2.5.2 Prækvaltæret

De øverste ca. 400 m af prækvaltæret udgøres overvejende af Skrivekridt. På Lolland og Sydfalster er dog nedforkastede områder, hvor yngre Danien kalk og Palæocene aflejringer er bevaret. Disse findes dog ikke indenfor undersøgelsesområdet hvor Skrivekridtet dermed er den primære bjergart til potentiel varmelagring i den øvre undergrund.

Skrivekridtet er karakteriseret som en finkornet, hvid kalkbjergart bestående primært af skeletter fra kalkalger, hvor mørk flint forekommer som spredte knolde eller langs kridtets lagdeling. Skrivekridtet er typisk homogen og blød – den bliver dog hårdere i dybden. Flint udgør 5-10%, og der ses små mergellag (indeholder ler), hvilket potentielt kan være hydrauliske barrierer internt i kridtet, se Figur 2.7 der viser en Skrivekridt sekvens fra Aalborg området (Vangkilde-Pedersen et al., 2011. Geovejledning.dk/gv8). Det er usikkert i hvilket omfang tilsvarende mergellag findes internt i kridtet på Lolland og Falster. De øvre opsprækkede dele af Skrivekridtet er den primære grundvandsressource på Falster og det nordlige Lolland. Skrivekridt har generelt en høj porøsitet på ca. 40 til 50 %, men en lav permeabilitet hvor det ikke har været udsat for opsprækning.

SkyTEM data bidrager til vurderingen af, om der kan forventes zoner med fersk eller salt grundvand i den opsprækkede del af Skrivekridtet. Fersk vand i kridtet vil fremstå som høje modstande (røde farver), mens indhold af salt grundvand fremstår som lave modstande (blå farver) se SkyTEM modeller på Figur 2.6.

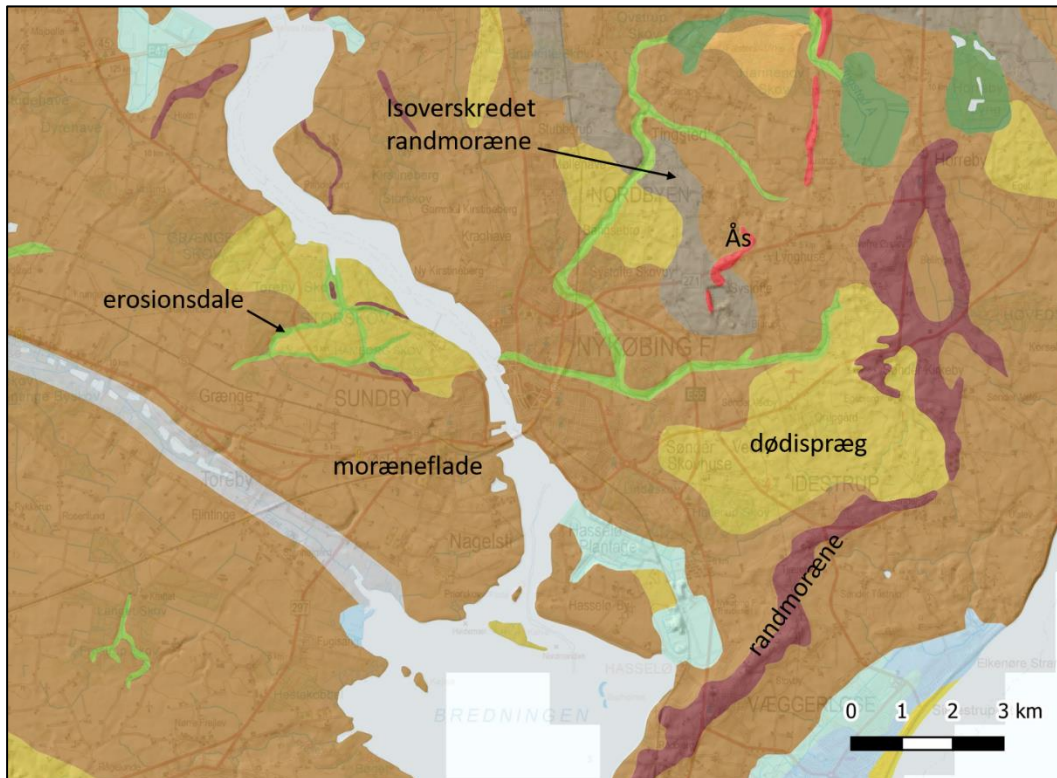


Figur 2.7. Skrivekridt i Rørdal kalkbrud ved Aalborg. De grå lag i kalken er mergellag (Vangkilde-Pedersen et al., 2011).

2.5.3 Kvartæret

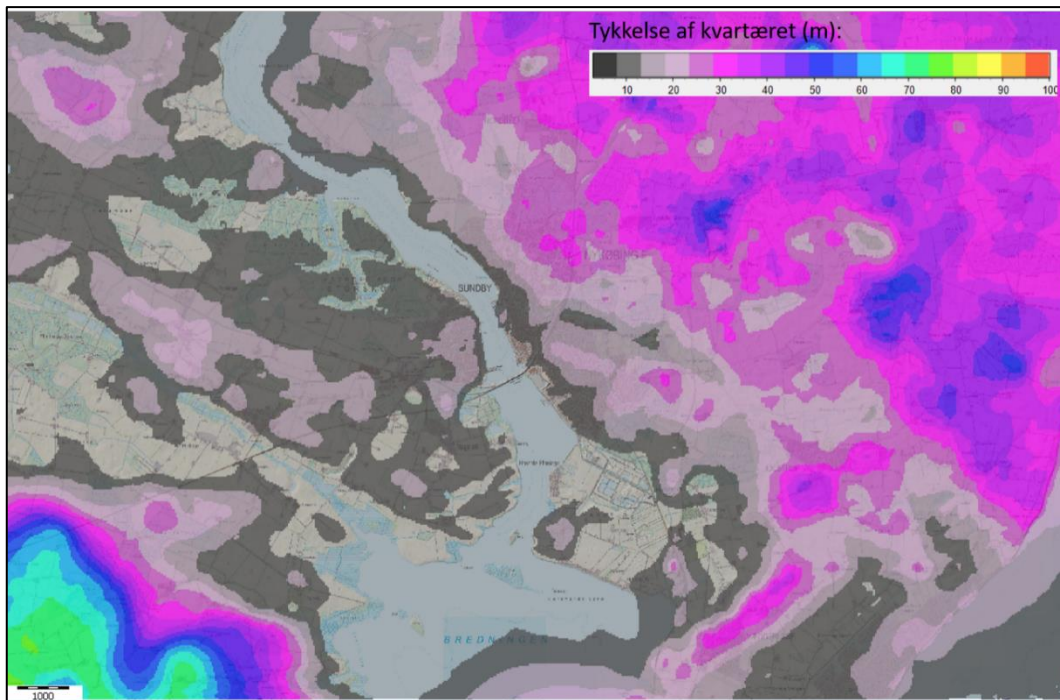
De kvartære aflejringer er forholdsvis tynde i området, og er domineret af moræne- og smeltvandsaflejringer dannet under istiderne. Det nuværende landskab er præget af terrænstriber på en morænelersflade samt en markant randmoræne på den østlige del af Falster fra det seneste isfremstød i Sen-Weischel. Moræneler udgør en stor del af lagserien, mens der

for smeltevandsaflejringerens vedkommende primært er tale om sandede lag – f.eks. er der sand og grus indvinding ved Systofte, øst for Nykøbing F., i forbindelse med en ås forekomst, se Figur 2.8. De øvrige landskabstyper der dominerer i Guldborgsund området er ligeledes vist på nedenstående Figur 2.8.



Figur 2.8. Geomorfologisk kort for Guldborgsund området. Nykøbing F. og Sundby er beliggende på en bundmoræneflade og dødislandskab der overvejende udgøres af moræneler (GEUS, 2018). Grå farve angiver isoverskredet randmoræne, og mod øst er kortlagt et bælte af randmorænebakker.

I forbindelse med den nationale grundvandskortlægning er der opstillet en hydrostratigrafisk model for området, og de eksisterende geologiske modeltolkninger er efterfølgende indarbejdet i DK modellen (Stisen et al., 2019). Figur 2.9 viser de tolkede tykkelser af kvartære aflejringer ovenpå prækvartære aflejringer, primært Skrivekridtet.

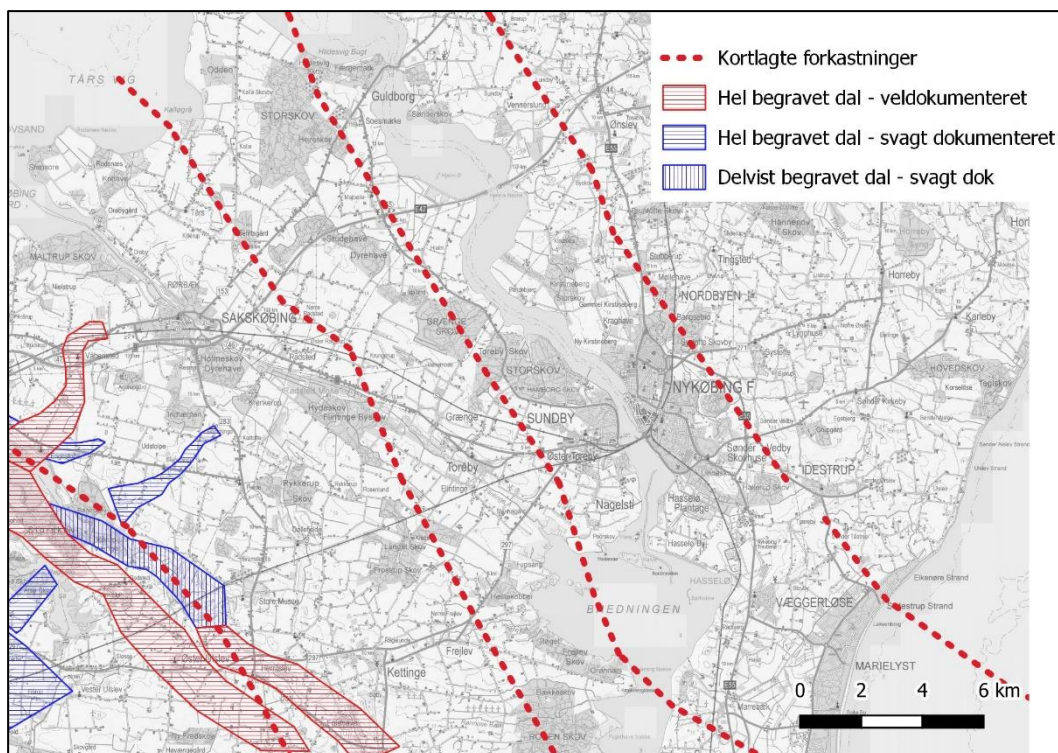


Figur 2.9. Tolkede tykkelser for kvartæret (istidsaflejringer) i området. Grå-sort farve er tykkelser på <15 m. Legende er vist øverst til højre.

Det ses, at de kvartære lag er tynde omkring Nykøbing F. og Sundby (<15 m), mens der på den centrale og østlige del af Falster ses større mægtigheder (fra 25 til >50 m. På Lolland ses større tykkelser mod sydvest som følge af bl.a. begravede dalstrukturer.

2.5.4 Kortlagte forkastningszoner og begravede dale

Der optræder ingen kortlagte dybt nederoderede begravede dale på Falster. De tykkere sekvenser af kvartære aflejringer som findes i fokusområdet (Nykøbing F.) forventes enten at være relateret til forkastningszoner og sprækkedannelser i Skrivekridtet eller opskudte randmorænebakker mod øst. Der er kortlagt begravede dale på den sydvestlige del af Lolland (Sandersen & Jørgensen, 2015), se Figur 2.10. Ved tidligere undersøgelser af den dybe undergrund er kortlagt større forkastninger, hvilke også er vist med røde stiplede linjer på Figur 2.10 (Vejbæk & Britze, 1994).



Figur 2.10. Oversigt over dybe forkastninger (røde stiplede linjer) (Vejbæk & Britze, 1994), og kortlagte begravede dale (røde og blå skraverede områder) (Sandersen & Jørgensen, 2015).

Nyere seismiske data og SkyTEM data har yderligere bidraget til kortlægningen af flere forkastningszoner. SkyTEM data kan også bidrage til en vurdering af Skrivekridtets opsprækkethed og relation til forkastninger, ved korrelation af områder med hhv. in situ saltvand og fersk grundvand i Skrivekridtet. Områder med mulighed for vandgennemstrøming i kridtet vil overvejende indholde fersk vand i porerummene, da det gamle salte vand er blevet udvasket over en meget lang tidsperiode.

3. Geologisk og hydrogeologisk tolkning

3.1 Tolkning af geologi i interesseområde

REFA Energi har tilkendegivet, at deres største interesse for varmelagring af overskudsvarme findes i området omkring Nykøbing F. Tolkningen af geologien med henblik på at afsøge UTES potentialet vil derfor fokusere på undergrunden i dette område, primært i den østlige del af Nykøbing F.

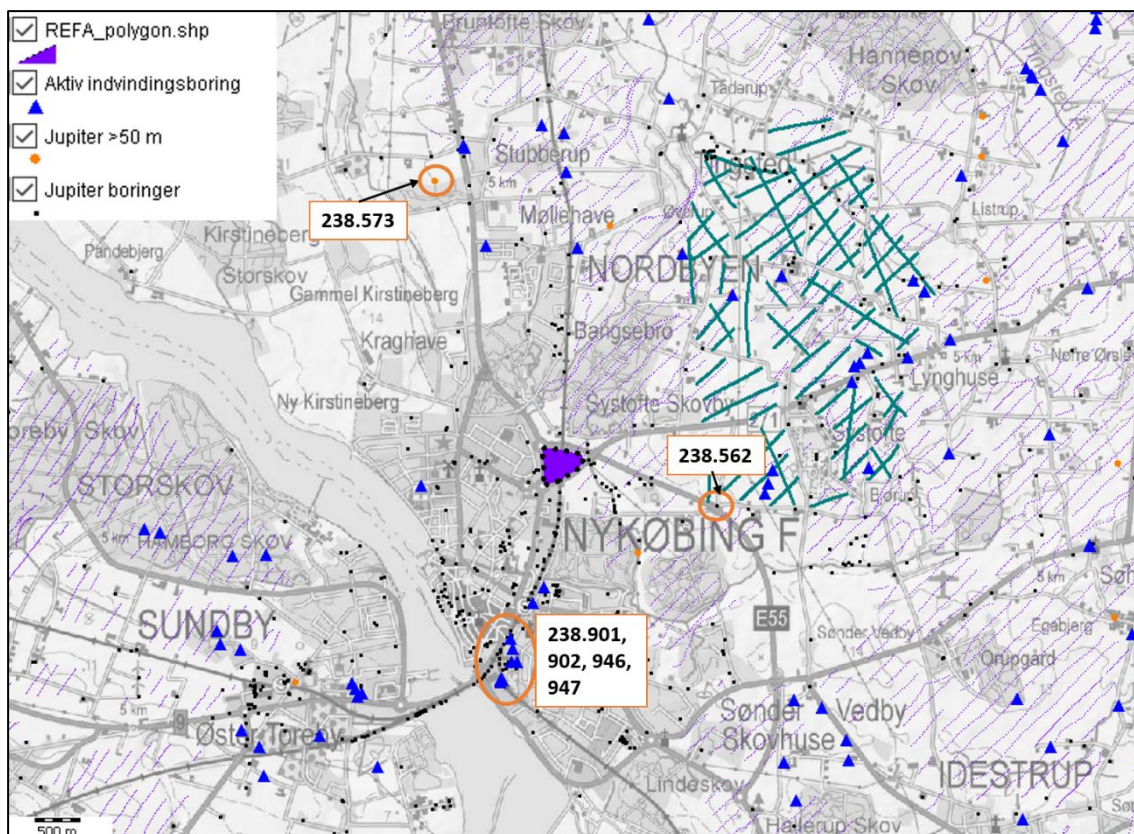
3.1.1 Gennemgang af centrale boringer

Der er lavet en gennemgang af eksisterende boringer i boringsdatabasen Jupiter - både aktive og sløjfede dybe boringer - der bidrager med væsentlig information i Nykøbing F. området, se Tabel 3.1 og Figur 3.1. Boringsgennemgangen viser generelt:

- Flere af boringerne, der træffer skrivekridtet, er gamle, uforede og er senere blevet sløjfet. Det har typisk været nødvendigt at undersøge indscannede boringsbeskrivelser for informationer.
- Boringerne forventes typisk at være opgivet/sløjfet på grund af, at kalken/kridtet lokalt har begrænset ydelse, ringe drikkevandskvalitet eller mulig ændring i indvindingsstruktur.
- Grundvandskemien i Nykøbing F. viser generelt et forhøjet kloridindhold (residualt saltvand eller saltvandsindtrængning fra Guldborgsund).
- Skrivekridtet beskrives i jordartsbeskrivelserne forskelligartet, dog typisk blød/meget blød, svagt til stærkt flintholdigt, og slammet til meget slammet. Farven beskrives som hvid-grå.
- Der er også observeret beskrivelser af "slamkalk" i enkelte boringer, der ligeledes angives som flintholdig.

Tabel 3.1. Gennemgang af udvalgte dybe boringer i fokusområdet, der er filtersat i kridt (Kilde: Jupiter, GEUS).

Boring	Dybde (m)	Filterdybde (m u.t.)	Bemærkning
238.562	65,5	29-65 (Skrivekridt)	Lokaliseret øst for Nykøbing F. Tidligere indvindingsboring til Nykøbing F. Vandværk, sløjfet pga. sammenstyrning. Skrivekridt beskrives som blødt og stærkt flintholdig. Angivet ydelse er på 18 m ³ /t med en resulterende sænkning på 16,7 m.
238.573	86	34-86 (Skrivekridt)	Placeret i Nordbyen, etableret i 1978. Nuværende pejleboring. Prøvepumpningsnotat (1978): Artetisk og inhomogent magasin i Skrivekridtet, og strømning mod vest-syd-vest. Ingen tegn på saltvandsindtrængning ifm. test. Pumpet med en ydelse på 24m ³ /t i 12 døgn. Der er ikke konstateret lækage eller begrænsninger i magasinet, men dog en ret stejl sænkningstragt.
238.901 238.902 238.946 238.947	33-40	Ca. 20-40 (Skrivekridt)	Nordic Sugar – sukkerfabrik. Boringer lokaliseret i Nykøbing F. by, nær station. Boringerne anvendes til procesvand, og viser et forhøjet kloridindhold på > 200 mg/l. Skrivekridt magasinet beskrives som meget blød, og flintholdig til stærkt flintholdig. Angivne ydelser er på >30 m ³ /t og med tilhørende sænkning på <10 m.

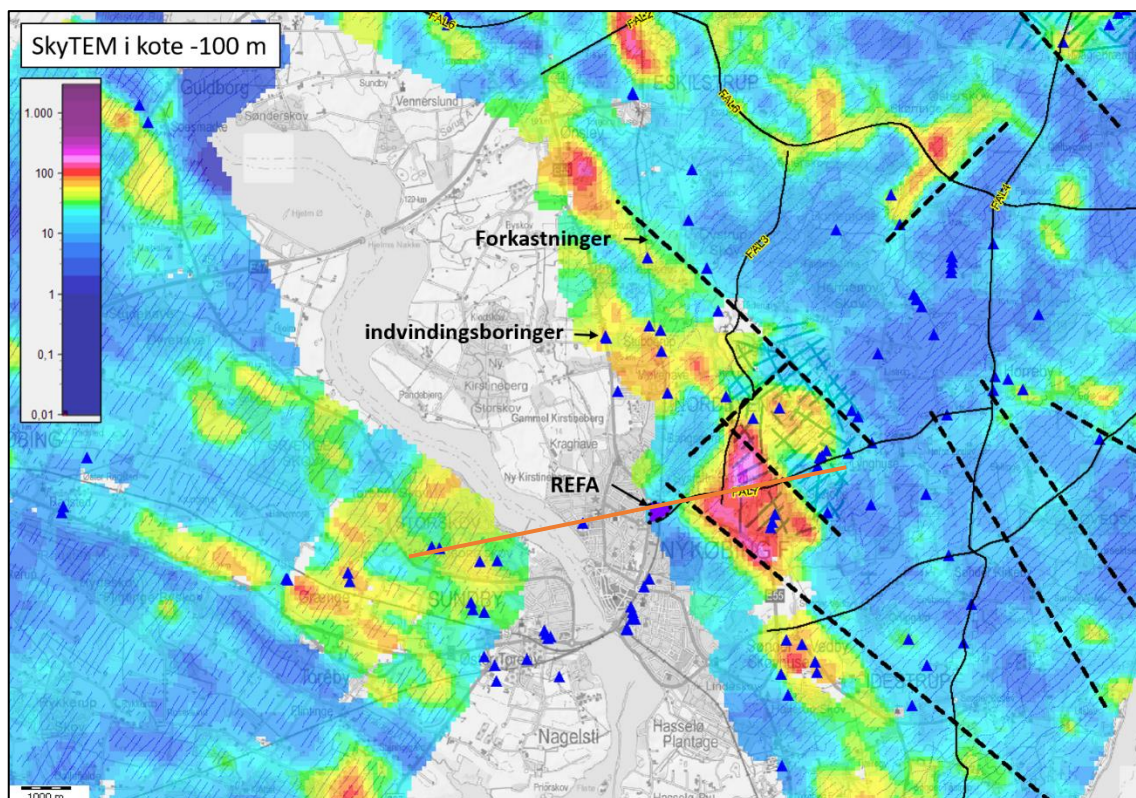


Figur 3.1. Områdeoversigt med fremhævelse af centrale borer. REFA Energi og biomasseværk er vist med lilla polygon. SkyTEM data (flyvelinjer) ses som lilla linjer.

Gennemgangen af de forskellige boringsdata viser, at der ses lokale variationer i Skrivekridtet og dets hydrauliske egenskaber. Sidstnævnte afhænger desuden af de overliggende kvartære aflejringer. I nogle områder med lerdække er vandspejlet i Skrivekridtet således under tryk mens det i andre områder er frit. Da området ligger lavt, træffes det øvre grundvandspejl typisk nær ved terrænoverfladen, og borer etableret nær sundet kan være i risiko for at trække saltholdigt vand til boringen – både oppefra og nedefra – såfremt der indvindes for store mængder grundvand fra det lokale magasin.

3.1.2 Sammentolkning med SkyTEM og seismik

På baggrund af SkyTEM og seismik er der udført en tolkning af forventede forkastningslinjer. Forkastningerne vurderes at være orienteret primært NV-SØ med tilsvarende forkastningsplaner vinkelret herpå (SV-NØ). Figur 3.2 viser tolkede forkastningslinjer skitseret på et oversigtskort med en visualisering af SkyTEM 3D grid som baggrundstema. De viste SkyTEM data repræsenterer geofysiske modstande i kote -100 m, hvor høje modstande (rød farve) indikerer Skrivekridt med fersk grundvand, mens lave modstande (blå farve) indikerer et højt ion-indhold i Skrivekridtet – og dermed forventeligt saltholdigt grundvand.

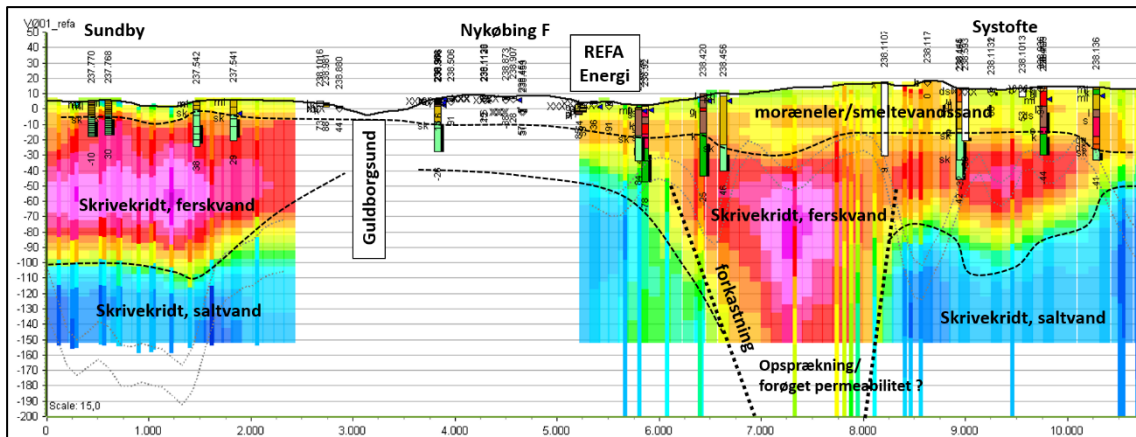


Figur 3.2. Oversigtskort, med tolkede forcastningslinjer (nærværende sammenstilling) og SkyTEM modstande i kote -100 m. Legende for geofysiske modstande ses til venstre. Høje modstande (rød farve) indikerer Skrivekridt med fersk grundvand, mens lave modstande (blå farve) indikerer et højt ion-indhold i Skrivekridtet - forventeligt saltholdigt grundvand. REFA Energi er vist med lilla polygon. Orange linje viser profillet på Figur 3.3.

Som det ses på ovenstående kort, så er der en tydelig sammenhæng mellem forcastninger og graden af udvasket gammelt saltvand i kridtet. Udvasningen skyldes en lang periode med nedrivende ferskvand fra overfladen, herunder smeltevand fra istiden. Forcastningsaktivitet giver forstyrrelser i en ellers øvre homogen kridtpakke, og giver også en mulig opsplitning i blokke grundet sideværtsforskydning, hvilket antydes i tolkningen. Konsekvensen er forøget permeabilitet i kridtet, som følge af opsprækning. Graden af opsprækning ser ud til at være ret lokalt bestemt, vurderet ud fra tilgængelige pumpedata og magasin-ydelser i de tilgængelige og historiske vandforsyningsboringer.

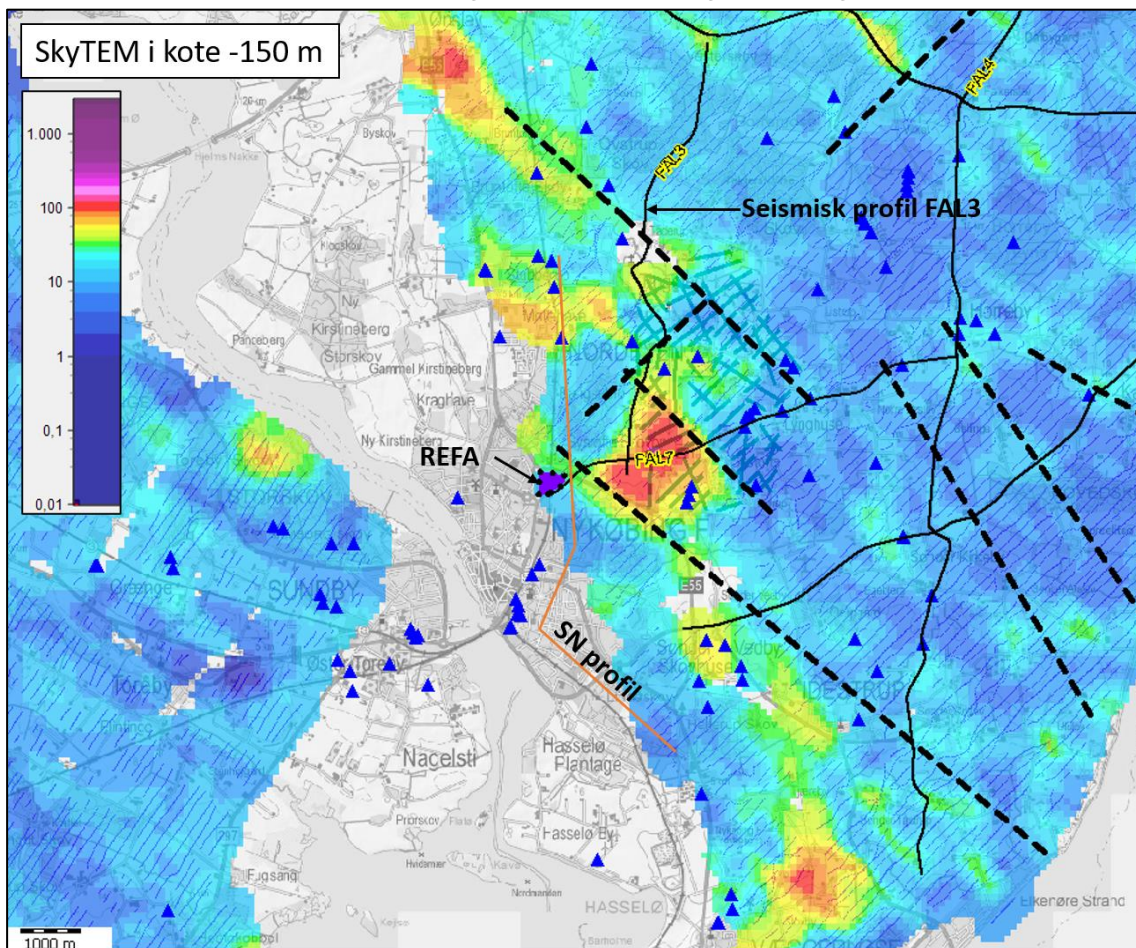
På Figur 3.3 er vist et V-Ø profil, der går igennem fokusområdet i Nykøbing F. Der ses i den østlige del af Nykøbing F. ca. 10-20 m kvartært dæklag domineret af moræneler. Længere mod øst ved Systofte ses flere forekomster af smeltvandssand nær terrænet. Ved Sundby, vest for Guldborgsund, ses Skrivekridtet tæt på terrænet med <10 m dæklag af moræneler.

Fra profilmeter ca. 6000 til 8500 (Figur 3.3) er der tolket en forcastningszone, der antyder udvaskning af gammelt saltholdigt grundvand med ferskvand til mere end 100 m's dybde. Den ene af forcastningerne ligger tæt på REFA's biomasseanlæg med en NV-SØ orientering, og i denne zone kan der potentielt være en forøget permeabilitet også dybere end 100 m u.t. Forcastningen kan følges dybt i lagserien, og i SkyTEM ses ingen markante lave modstande som indikerer salt grundvand. Vi er dog under SkyTEM modellernes primære indtrængningsdybde, hvormed data skal tolkes med forsigtighed.



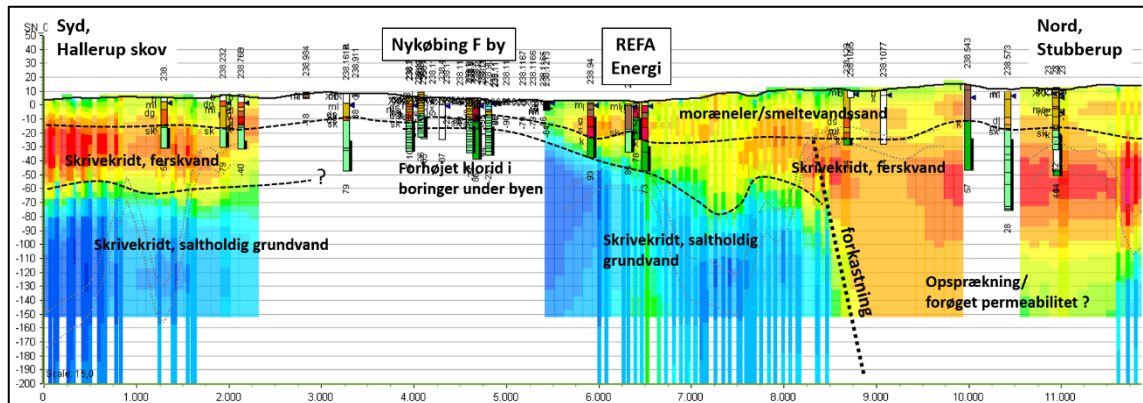
Figur 3.3. V-ø profil med tolkninger gennem området ved REFA og visualisering af nærliggende forkastningszone. Geofysiske SkyTEM data er vist som modelstave og 3D grid. Forløbet af profilet og legende for geofysiske modstande er vist på Figur 3.2.

I kote -150 m ses fortsat et område øst for Nykøbing F., hvor der formodes at være en forøget permeabilitet i Skrivekridtet, det er dog usikkert i hvilken grad, se Figur 3.4.



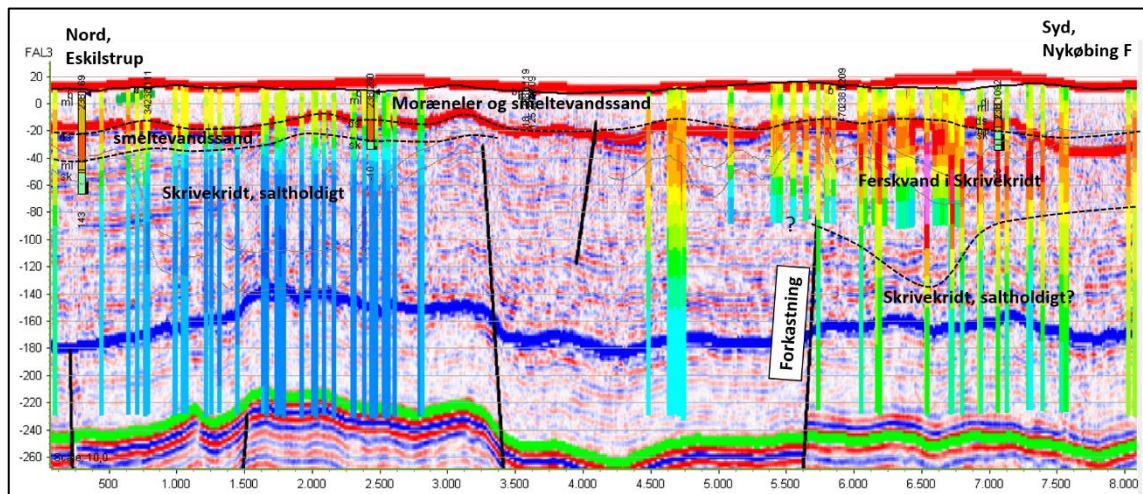
Figur 3.4. Oversigtskort, der viser tolkede forkastningslinjer og SkyTEM modstande i kote -150 m. Legende for geofysiske modstande ses til venstre. Høje modstande (rød farve) indikerer Skrivekridt med fersk grundvand, mens lave modstande (blå farve) indikerer et højt ion-indhold i Skrivekridtet, hvilket tolkes til saltvand. REFA Energi er vist med lilla polygon. Orange linje viser forløbet af profil SN vist på Figur 3.5. Det S-N gående seismiske profil FAL3 (Figur 3.6) er ligeledes vist på kortet.

Der er optegnet yderligere et profil, gående fra syd for Nykøbing F. til nord for byen, se Figur 3.5. Her bemærkes det, at der er registreret saltholdigt grundvand under den centrale del af Nykøbing F., bl.a. i vandanalyser fra borerer til procesvand ved sukkerfabrikkerne.



Figur 3.5. S-N profil på tværs af Nykøbing F. Forløbet af profilet og legende for geofysikken ses på Figur 3.4. Ved profilmeter 8500 ses en formodt forkastning, der også er verificeret i seismikken.

Nord for REFA lokaliteten træffes samme forkastningszone, som også ses mod øst på Figur 3.3 og som er associeret med fersk grundvand. Det seismiske profil som danner tolkningsgrundlaget er vist på nedenstående Figur 3.6, hvor identificerede forkastninger er indtegnet med sorte linjer. Fra omkring profilmeter 3000 og i sydlig retning ses også høje modstander og dermed indikation på ferskvand.



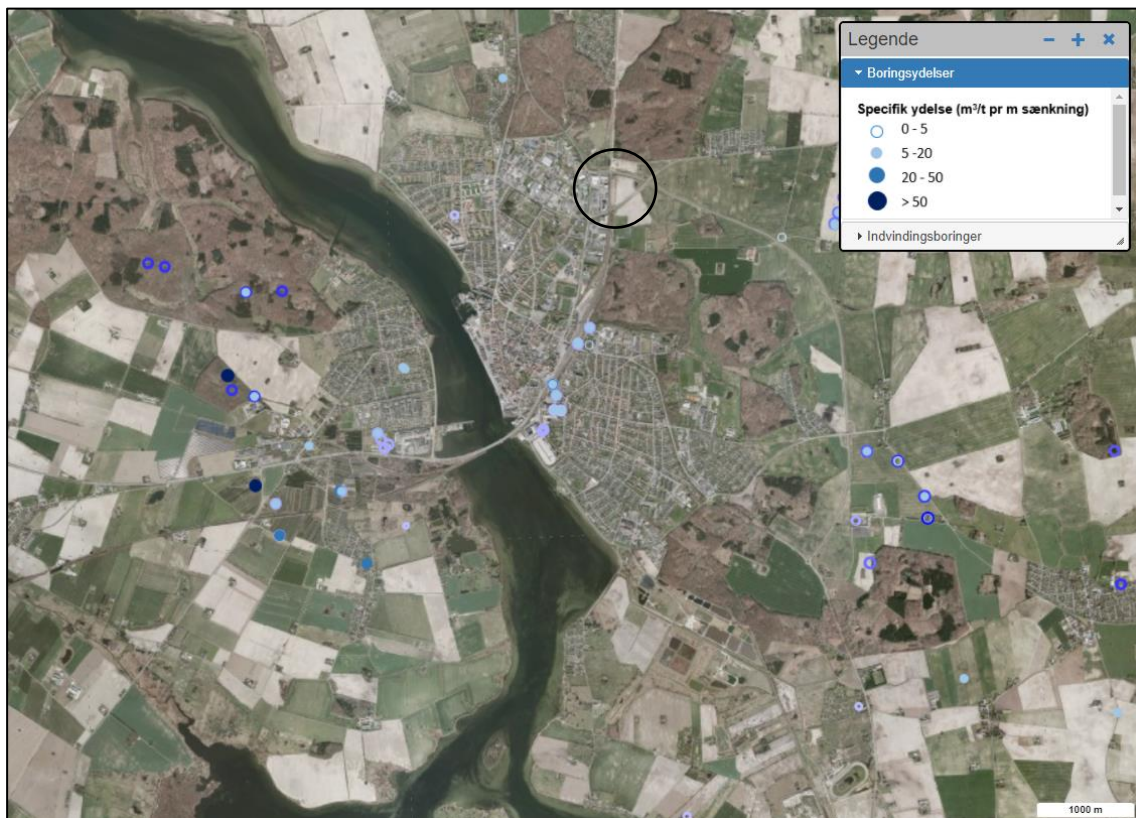
Figur 3.6. Seismisk profil FAL3 gående fra nord-syd. Fra profilmeter 3500 og mod syd ses en lagserie påvirket af forkastninger som er indtegnet med sorte linjer. Forløbet af profilet er vist på Figur 3.4.

Sammenfattende er mulighederne for varmelagring undersøgt i de øverste ca. 400 m af lagfølgen ved Guldborg Sund som domineres af Skrivekridt med et tyndt dække primært af moræner. Lerdækket gør, at der stedvis er et spændt grundvandsmagasin i Skrivekridtet. Forkastningszoner, der har dybt udgangspunkt, kan flere steder følges højt op i kridtserien. Knusning af kridt i forkastningszonerne synes at have medført udvaskning af salt grundvand. Dele af den permeable Skrivekridt med fersk grundvand er den primære ressource for drikkevandsforsyningen i området. Det er usikkert hvor høj permeabilitet der kan forventes i dybder under 100 m, hvilket vil være interessant at undersøge med henblik på mulighederne for etablering af et ATES anlæg. Hydrogeologien under Nykøbing F. indikerer hydraulisk kontakt

til Guldborgsund, da der ses forhøjet klorid indhold i grundvandet. Dette, sammen med at niveauerne ikke er voldsomt høje, indikerer, at der sandsynligvis er tale om en indtrængning fra sundet snarere end gammelt in situ saltvand. I forhold til potentialet for etablering af et BTES anlæg ses områder med mere intakt Skrivekridt, formodentlig uden nævneværdig opsprækning og udvaskning, som kan være relevante, men hvor afstanden til kilden med overskudsvarme kan være en begrænsende faktor. De vurderede muligheder og begrænsninger ved et BTES anlæg baseret på eksisterende data, er beskrevet i afsnit 4.2.

3.2 Grundvandet og vandkemi

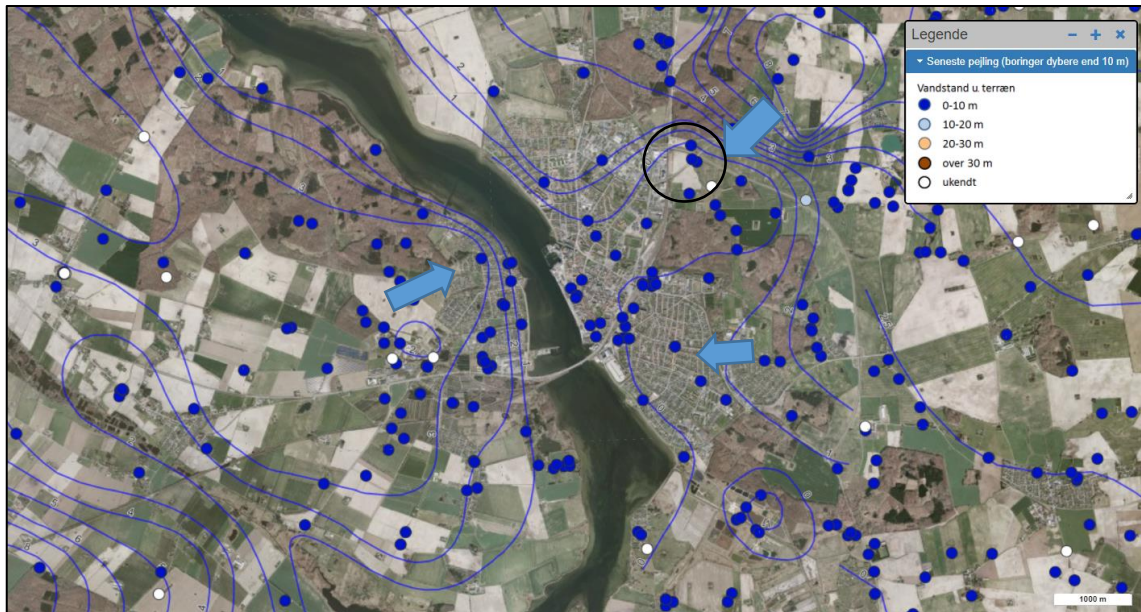
Det er via GEUS' screening tool for varmelagring ([GEUS varmelagring](#)) muligt at se et udtræk af magasinydelser (m^3/t pr. m sænkning) fra borerer i Jupiter databasen. På Figur 3.7 ses et udtræk for Guldborgsund området sammenholdt med aktive indvindingsboringer til almene vandforsyninger (blå ringe). Ydelserne er udsøgt for borerer med en filtersætning >10 m.u.t. og primært filtersat i smeltevandssand eller Skrivekridt.



Figur 3.7. Specifikke magasinydelser (m^3 vand/ t pr. m sænkning) fra Jupiter borerer med filtersætning dybere end 10 m.u.t. De viste blå ringe repræsenterer indvindingsboringer til drikkevandsforsyning, hvor aktuel indvinding er meget sandsynlig (kilde: [GEUS varmelagring web tool](#)). Fokusområde vist med sort cirkel.

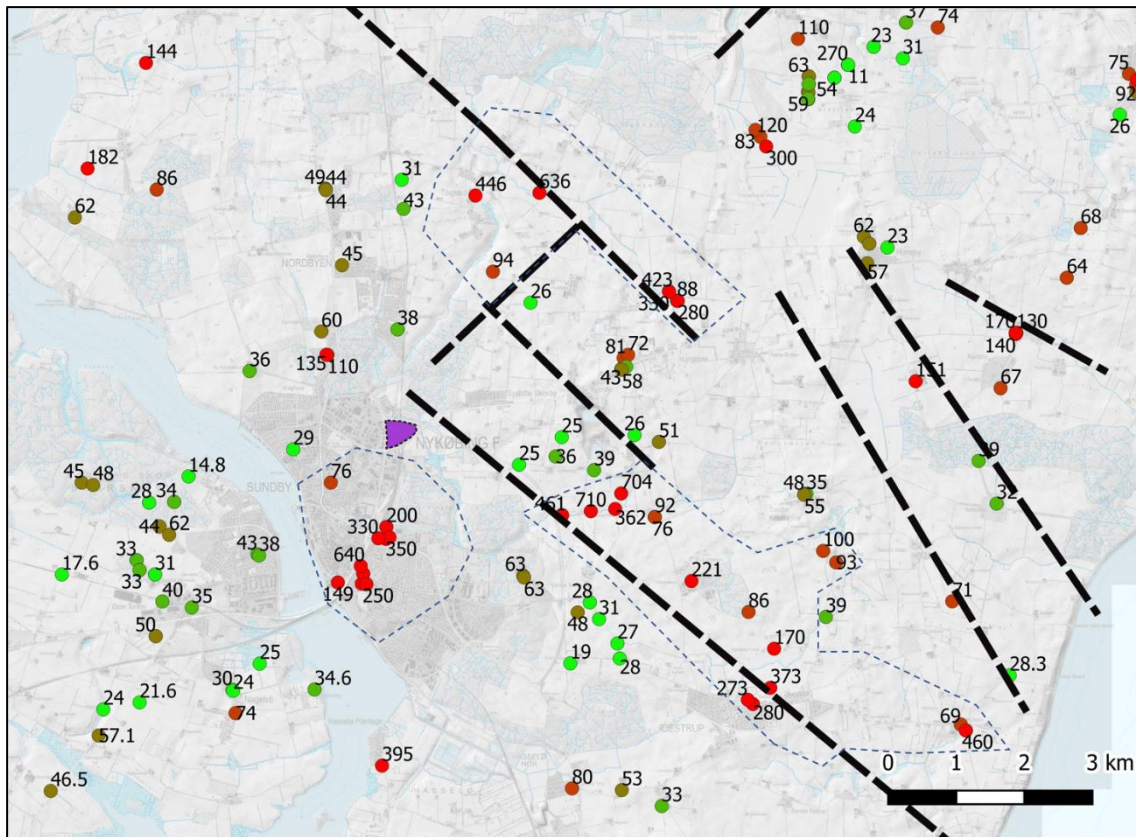
Drikkevandsindvindingen til Nykøbing F. sker på Lolland på arealer nordvest for Sundby, mens indvindingen på Falster sker østsydøst for Nykøbing F. De estimerede magasinydelser ligger primært indenfor intervallet på $5-20 m^3/t$ per meter sænkning, mens der i enkelte indtag vest for Sundby ses ydelser fra Skrivekridtet på $>20 m^3/t$ pr. m sænkning.

Figur 3.8 viser det regionale potentialebillede for grundvandet i Guldborgsund området. I forhold til vurderingen af varmelagringspotentialet, er det vigtigt at notere sig, at en evt. varmefane overordnet må forventes at bevæge sig mod vestsydvest, hvis der f.eks. etableres et geologisk varmelager tæt ved Nykøbing F. Hastigheden af grundvandsstrømningen er en vigtig parameter ved undersøgelse af UTES potentialet, og kræver mere præcise beregninger, hvis det bliver relevant. På grund af områdets lave terrænkoter, står grundvandsspejlet generelt tæt på terrænen, hvilket må betragtes som en udfordring i forbindelse med evt. UTES etablering.



Figur 3.8. Oversigt over det forventede potentialebillede i de øvre grundvandsmagasiner i området. Grundvandstrømning sker vinkelret på konturkurverne mod laveste potentiale (m). Dvs. der sker en generel strømning mod Guldborgsund. I store dele af området indikerer afstanden mellem konturlinjerne en rolig grundvandsstrøm. Ved Sundby på Lolland ses en strømning mod øst, mens der ved Nykøbing F. forventes en strømning mod vest til sydvest. Med punkter er vist målt vandstand i borer – Generelt findes grundvandsspejlet <10 m u.t. (kilde: [GEUS varmelagring web tool](#)). Fokusområde vist med sort cirkel.

Grundvandskemia er en vigtig faktor, da den både giver informationer om de forskellige magasiners sammenhæng og egenskaber, samt vandets egnethed til drikkevandsforsyning. En ringe grundvandskvalitet kan være en mulighed for at anvende vandet som medie i varmelagringsammenhæng. Figur 3.9 giver en oversigt over klorid-indholdet i filterindtag i områdets borer. Sammenholdt med den geologiske tolkning i afsnit 3.1 er der konstateret forhøjet kloridindhold i flere borer filtersat i Skrivekridt grundet residualt saltvand i bjergarten eller saltvandsindtrængning. Grænsen for klorid i drikkevand er 250 mg/l, og baggrundskoncentrationen i grundvandet er ca. 30 mg/l (Vangkilde-Pedersen et al., 2011. [geo-vejledning.dk/gv8](#)). Som det ses på Figur 3.9 er der flere koncentrationer på >200 mg/l.



Figur 3.9. Tematisering af klorid i grundvandet baseret på analyser i Jupiter (Grundvandsanalyser, data.geus.dk). Labels på klorid analyser viser målt indhold i mg/l. Sorte stiplede linjer er tolkede forkastninger. Med blå stiplede polygoner er angivet områder, hvor grundvandet har et forhøjet indhold af klorid. Grænseværdien for klorid i drikkevand er 250 mg/l. Med lilla polygon er vist området ved REFA biomasseværk.

Sammenholdt med SkyTEM data og tolkede forkastninger, tolket i afsnit 3.1, kan der udledes en sammenhæng mellem opsprækning, udvaskning af saltvand og dermed også niveauerne for klorid-indholdet i Skrivekridtet. De højeste koncentrationer af klorid, som dog stadig er en faktor 100 under koncentrationerne i havvand, ser ud til at kunne relateres til de mest uforstyrrede dele af kridtaflejringerne samt ved Nykøbing F., hvor en sandsynlig indtrængning af saltvand fra Guldborgsund kan være årsagen til forhøjede klorid koncentrationer.

4. Vurdering af UTES varmelagringspotentiale

På baggrund af den geologiske sammenstilling og tolkning er der givet en vurdering af potentialet for BTES og (HT)-ATES i området ved Guldborgsund og Nykøbing F. Der har været fokus på især at afdække sammensætningen af lagserie, forkastningszoner, opsprækkethed, permeabilitet og grundvandskemi i Skrivekridtet. Dette er centralt både ift. lukkede jordvarmeboringer som ved BTES og de åbne grundvandssystemer som (HT)-ATES. Ligeledes er fortaget en vurdering i forhold til drikkevandsindvinding og drikkevandsinteresser i området.

4.1 (HT)-ATES

I Tabel 4.1 er de geologiske tolkninger sammenfattet som muligheder og begrænsninger i forhold til udnyttelse af de øvre geologiske lag til (HT)-ATES. Til (HT)-ATES ønskes grundvandsmagasiner, hvor det er muligt at nedpumpe og lagre varmt vand, for derefter at indvinde vandet i vintersæsonen når varmebehovet stiger. Området er undersøgt for magasinegen-skaber i aflejringer fra Kvartæret og Skrivekridtet.

Tabel 4.1. Geologisk vurdering af muligheder, begrænsninger og usikkerheder for (HT)-ATES.

Muligheder
Sammenstillingen og tolkningen af de geologiske data viser, at der er områder i Skrivekridtet, hvor forkastningsaktiviteter har medført opsprækning og dermed sandsynligvis forøget permeabilitet (vandgennemstrømning i dele af magasinet). Er permeabiliteten tilstrækkelig i et større volumen af Kridt lagpakken åbner dette en mulighed for oppumpning og injektion af grundvand.
Arealer ved Nykøbing F. by er ikke karakteriseret som et område med drikkevandsinteresser. Vandkvaliteten her er præget af et forhøjet kloridindhold, og dermed ikke egnet til drikkevand. Det er dog vigtigt at betragte grundvandsbalancen, da der er mulig hydraulisk kontakt til havvandet.
Generelt vurderes grundvandsstrømningen i fokusområdet, på grundlag af de regionale potentialekort, at være rettet væk fra den nuværende drikkevandsforsyning (mod SV). Forholdene kan dog være anderledes i dybden.
Begrænsninger/udfordringer
<i>Den nuværende bekendtgørelse for grundvandsbaserede varme- og køleanlæg udgør p.t. en lovmæssig barriere grundet en maksimal injektionstemperatur på 25°C (BEK nr. 1716 af 15/12/2015).</i>
Drikkevandsinteresserne i området (øst for Nykøbing F.) skal vægtes højest, og kan være en begrænsende faktor, da større områder er udlagt til områder med særlige drikkevandsinteresser (OSD) eller drikkevandsinteresser (OD). Da Skrivekridtet er eneste reelle magasinenehed i fokusområdet skal der være sikkerhed for at både drikkevandsforsyningen og varmelagring kan sameksistere uden at interferere.

Et højtstående grundvandsspejl grundet de lave terrænkoter kan potentielt give udfordringer. Hvis det øvre grundvandssystem er sammenhængende med Skrivekridtet i det pågældende område kan en indvindingstragt risikere at påvirke det terrænnære grundvand.

Usikkerheder

Der er usikkerhed om Skrivekridtets interne inhomogeniteter i dybden, især fra 50 m.u.t. og nedefter (til ca. 400 m's dybde). Der mangler generelt data til at belyse i hvilken grad der kan forventes en tilstrækkelig permeabilitet og bjergartsvolumen i relation til forkastningszoner dybere end 100 m, med henblik på om ATES potentielt er realisérbart.

Som angivet er permeabiliteten i Skrivekridtet helt afgørende for om et ATES anlæg er teknisk gennemførligt i området. Erfaringer med HT-ATES fra især Holland viser, at grundvandsmagasiner med hydrauliske ledningsevner på $3,5 - 8 \cdot 10^{-5}$ m/s (hvilket svarer til finkornet sand) giver de optimale lagringsforhold. De lokale forhold i kalk/kridtet ser ud til at variere baseret på de historiske boringsdata, så en testboring er afgørende for at vurdere de lokale forhold.

4.2 BTES

I Tabel 4.2 er de geologiske tolkninger sammenfattet som muligheder og begrænsninger i forhold til udnyttelse af de øvre geologiske lag til BTES, hvor mulighederne for at opvarme jordlegemet uden et stort varmetab til omgivelserne er afgørende. Ved et BTES-lager ønskes en så begrænset grundvandsstrømning som muligt netop for undgå varmetab fra lageret.

Tabel 4.2. Geologisk vurdering af muligheder, begrænsninger og usikkerheder for BTES.

Muligheder
Der er identificeret flere områder, hvor Skrivekridtet ser forholdsvis uforstyrret ud, og hvor grundvandsstrømningen muligvis er begrænset i kridtet. Der skal dog også være en helt overfladenær geologi uden vandtransport og den intakte kridt må ikke ligge for dybt.
Begrænsninger/udfordringer
Drikkevandsinteresserne i området (øst for Nykøbing F.) skal vægtes højest, og kan være en begrænsende faktor, da større områder er udlagt til områder med særlige drikkevandsinteresser (OSD) eller drikkevandsinteresser (OD). Da Skrivekridtet er eneste reelle lagringsenhed i fokusområdet, skal der være sikkerhed for at både drikkevandsforsyningen og varmelagring kan sameksistere uden at interferere.
Højtstående grundvandsspejl og vandtransport i sprækker er problematisk ved etablering af et BTES anlæg, f.eks. hvis der i den øvre kvartære lagpakke ses sandlag eller sandlinser i moræneler med vandstrømning.

<p>Det er problematisk, hvis den øverste del af kridtet er for vandførende, og dermed giver et for stort varmetab. SkyTEM data antyder, at de øverste ca. 30 m er udvasket for gammelt saltvand.</p>
<p>De energimængder der lagres i et BTES anlæg er begrænsede ved sammenligning med ATES og PTES. Generelt viser erfaringer, at et BTES anlæg bør have et lagervolumen på mindst 20.000 m³ jord/bjergart for at være rentabelt (Sibbitt & McClenahan, 2015). Så spørgsmålet er om den rette arealtilgængelighed kombineret med egnet øvre lagserie er tilstede indenfor tæt afstand til lokaliteten.</p>
<p>Usikkerheder</p>
<p>På baggrund af de nuværende data kendes varmeledningsevnen ikke for den lokale moræneler og Skrivekridt, men bedre viden kan opnås ved termisk responstest i en prøveboring.</p>
<p>Det skal undersøges om der findes egnede overfladearealer af en vis størrelse og tæt nok på lokaliteten med overskudsvarme. Desuden er der behov for mere konkrete målinger/beregninger af grundvandsstrømningen – såsom information om hastighed og retning.</p>

Sammenfattende indikerer boringsdata, at den øvre del af geologien kan være en begrænsende faktor for etablering af et BTES-anlæg, da grundvandstrømning er en formodet reel udfordring. Hovedparten af lagserien vurderes at være vandmættet, og kvartæret og den øverste del af skrivekridtet (øvre opsprækning) må forventes at have en vis vandføring. SkyTEM data indikerer ikke umiddelbart områder med gammelt salt porevand i de øverste ca. 30 m, som indikator for uforstyrret Skrivekridt uden sprækker. Det er ved BTES ligeledes vigtigt at overveje den opladningsperiode, som er nødvendig når et nyt lager skal tages i brug, samt at en buffertank vil være nødvendigt grundet systemets træghed.

4.3 anbefalinger til mulig dataindsamling

Her gives et oplæg til aktiviteter, der vil kunne belyse usikkerhederne beskrevet i vurderingsafsnittet:

- Udførelse af en prøveboring på en udvalgt lokalitet i det østlige Nykøbing F., der gennemborer den kvartære lagserie og ned i en kortlagt forkastningszone med henblik på at undersøge hydrauliske egenskaber for Skrivekridtet i denne zone (200-300 m dyb boring). Der er udpeget en forkastningszone <1 km øst for REFA, som er interessant at undersøge. Boringen skal, hvis muligt, udføres med filtersætning og prøvepumper, samt evt. gennemførelse af termisk responstest, såfremt BTES også er i spil. Eventuelt kan overvejes en såkaldt Enhanced Thermal Reponse Test, ETRT, der vil kunne identificere horisonter med stor vandføring, og dermed energitransport væk fra et borehulslager.
- Evt. indsamling af geofysik:
 - Seismik med fokus på interne horisonter i kalk og kridtpakken på udvalgte arealer.

5. Referencer

Alectia, 2015: GKO Nord- og Midtfalster, Delaftale 19 – geologisk og hydrostratigrafisk model, Afgiftsfinansieret grundvandskortlægning, Naturstyrelsen, rapport, 2015.

(RapportID: [91342](#))

Bakema, G. & Drijver, B. 2018: State of the art HT-ATES in the Netherlands - Evaluation of thermal performance and design considerations for future projects. IF Technology.

Baunsgaard, J.P.M. (ed) 2018: Termisk Lagring (HTES), Final report, EUDP J.no. 64016-0014.

https://energiforskning.dk/sites/energiforskning.dk/files/slutrappporter/final_report_-_thermal_storage_htes_eudp_jno_64016-0014_w_appendicies.pdf

Ditlefsen, C., Kallesøe, A. J. & Bjørn, H. 2019: Geologisk Varmelagring. Screening af mulighederne for overfladenær geologisk varmelagring i Danmark. Rapport leverance D1.1. til EUDP-projekt J. Nr. 1887-0017: Kortlægning af mulighederne for geologisk varmelagring i Danmark. https://hs.geoenergi.org/xpdf/screening_for_overfladenaer_varmelagring.pdf

GEUS, 2018: Geomorfologisk kort – Sydlige Danmark 1:200.000 (foreløbigt), udarbejdet af Jakobsen, P. R.

Kallesøe, A.J. & Vangkilde-Pedersen, T. (eds) 2019: Underground Thermal Energy Storage (UTES) – state-of-the-art, example cases and lessons learned. HEATSTORE project report, GEOTHERMICA – ERA NET Cofund Geothermal.

Miljøstyrelsen, 2016: Mikrobiologisk risikovurdering af øgede temperaturer i grundvandet ved ATES; M.M. Tønder, S.C.B. Christensen, S.L. Larsen, H. Albrechtsen, R. Boe-Hansen, S.N. Sørensen, Naturstyrelsen, ISBN nr. 978-87-7175-564-0, 2016.

Viegand Maagøe, 2018: Overskudsvarmeanalyse Region Sjælland, Gate 21, Region Sjælland, notat, juni 2018.

Pedersen, S.A.S., Rasmussen, L.A. & Fredericia, J. 2015: Kortbladsbeskrivelse til Geologisk kort over Danmark, 1:50 000, Saksøbing 1411 I og 1412 II Syd, GEUS map series 6, 2015.

Rambøll, 2011: Seismisk kortlægning Nord- og Midtfalster, Afgiftsfinansieret grundvandskortlægning, Naturstyrelsen Storstrøm, rapport, november 2011.

Rambøll, 2012: Geologisk model – Lolland, Afgiftsfinansieret grundvandskortlægning, Naturstyrelsen, rapport, 2012 (RapportID: [90886](#)).

Sandersen, P. & Jørgensen, F. 2016: Kortlægning af begravede dale i Danmark. Opdatering 2015. GEUS særudgivelse.

Sibbitt, B. & McClenahan, D. 2015: Seasonal Borehole Thermal Energy Storage – Guidelines for design & construction, IEA-Solar Heating & Cooling TECH SHEET 45.B.3.1, page 1-15, April 2015.

Stisen, S., Ondracek, M., Troldborg, L., Schneider, R.J.M. & John van Til, M. 2019: National Vandressource Model. Modelopstilling og kalibrering af DK-model 2019, GEUS rapport 2019/31.

Vangkilde-Pedersen, T., Mielby, S., Jakobsen, P.R., Hansen, B., Iversen, C.H. & Nielsen, A.M. 2011: Kortlægning af kalkmagasiner. Geo-vejledning 8. GEUS særudgivelse, ISBN 978-87-7871-306-3 og WEB ISBN 978-87-7871-307-0. Geovejledning.dk/gv8

Vejbæk, O. V. & Britze, P. (eds.). 1994: Top pre-Zechstein (two way travel time and depth), geological map of Denmark 1:750.000. DGU Kortserie, 45, 9 pp.