

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

HEATSTORE

Anders Juhl Kallesøe & Mette Hilleke Mortensen

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

HEATSTORE

Anders Juhl Kallesøe & Mette Hilleke Mortensen

Indhold

1.	Introduktion	5
1.1	Baggrund	6
2.	Odense området	6
2.1	Introduktion til området.....	7
2.2	Interessenter	7
2.3	UTES teknologier i fokus.....	8
2.4	Dataoverblik.....	11
2.5	Geologisk ramme	12
3.	Geologisk sammenstilling og tolkning	17
3.1	Tolkning af geologi og hydrogeologi	17
3.2	Grundvand, vandkemi og drikkevandsinteresser.....	27
4.	Vurdering af UTES varmelagringspotentiale	30
4.1	(HT)-ATES.....	30
4.2	BTES	32
4.3	Anbefalinger til mulig dataindsamling	33
5.	Referencer	35

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.

Fjernvarme Fyn (DH utility of Odense and suburbs) is one of the largest DH utilities in Denmark and consider seasonal storage of surplus heat as an integrated part of the DH network in the future. Odense has been selected as an area representing a geological setting in the central part of Denmark consisting of both Quaternary and older marl and Limestone deposits partly fractured by glacial processes throughout the ice ages.

The focus of this report is on evaluating the potential for BTES and High Temperature ATES (HT-ATES) in the upper c. 125 m of the subsurface in the Odense area. Based on input from the DH utility regarding existing DH transmission lines and location of surplus heat sources, the study is focusing on the South-eastern part of Odense. Below approx. 100-150 m the geological layers consists of old limestone with almost no available data and presumably no or limited groundwater flow. All accessible existing subsurface data in the area (especially data from a major national groundwater mapping program from 1999-2015 and boreholes from the national borehole database JUPITER) has been used to evaluate the UTES potential.

The geological interpretation of the available data in the south-eastern part of the Odense area shows a 40-60 m thick sequence of Quaternary deposits dominated by clay tills and only local meltwater sands units. Below the Quaternary sequence Kerteminde marl varying in thickness from <10 m to 25 m is found. The marl shows internal changes in the degree of fractures and thereby also permeability. Danien Limestone is underlying the marls and the degree of fractures in the limestone is expected to be closely connected to the thickness of the overlying marl as a consequence of former glacial deformation and erosion. The drinking water supply in Denmark is based on groundwater and the evaluation of the UTES potential must take drinking water interests into consideration. In the south-eastern part of Odense there are few or no drinking water interests due to a limited presence of aquifers and a high content of chloride in the marl and limestone. The latter indicate residual saline water in the old sediments and a limited hydraulic conductivity preventing freshwater flow from above. The potential of HT-ATES in the Kerteminde marl is very dependent of a sufficient permeability in the marl and limestone and based on available pumping information from (especially old) boreholes, the expected permeability is likely to be too low for ATES. A new exploration drilling would be able to clarify if there are more fractured deposits suitable for hot water extraction and injection. The potential for BTES depend on the degree of groundwater flow and the clay tills and underlying marl/limestone could represent favourable areas with limited groundwater flow similar to the existing BTES in Brædstrup, Denmark.

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
- Borehulslagre (eller Borehole Thermal Energy Storage, BTES)
- Damvarmelagring (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.

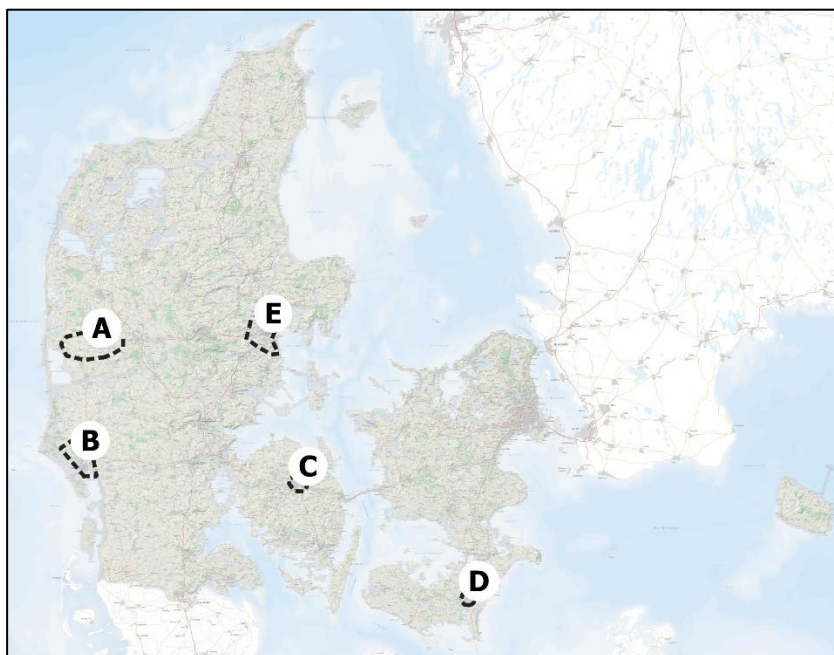


1.1 Baggrund

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 interessant-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 sedimenter 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. Odense området

2.1 Introduktion til området

Der er i Odense et tilkendegivet behov og ønske om storskala varmelagring. Interessen for at sæsonlagre og udnytte eventuel overskudsvarme gør det relevant at undersøge, hvorvidt geologisk varmelagring bør tages i betragtning som en potentiel teknologi i Odense området.

I nærværende rapport er der gennemført en sammenstilling af eksisterende geologisk viden med henblik på at beskrive de geologiske forhold i relation til geologisk varmelagring (BTES og (HT)-ATES) mere indgående end ved en første screening foretaget 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 er Fjernvarme Fyn (FVF), der er Danmarks tredjestørste fjernvarme-producent og leverer fjernvarme til mere end 100.000 husstande.

FVF har flere kilder til overskudsvarme, som det potentielt kan være rentabelt at sæsonlagre i fjernvarmenettet. I dialogen med FVF er følgende områder i Odense udpeget som prioritetsområder for potentiel lagring af overskudsvarme:

- TB (Tietgenbyen)
- OUH (Odense Universitetshospital)
- Ejby (Ejby Mølle renseanlæg)

2.2.1 Vurderet lagringsbehov

Fjernvarme Fyn ser en mulighed for at etablere varmelagring af "billig varme"/gratis overskudsvarme, evt. ved lavere temperaturer. Eksempelvis findes der et datacenter lokaliseret i Tietgenbyen med overskudsvarme på 35-40°C, der i sommerperioden potentiel kan lagres. "Højkvalitetsvarme" overvejes på sigt at blive lagret i et damvarmelager (PTES).

Der er tidligere blevet screenet for potentialet for dyb geotermi i Odense området (pers. medd. FVF) og her forventes intet potentiale grundet områdets placering på Ringkøbing-Fyn højderyggen.

2.3 UTES teknologier i fokus

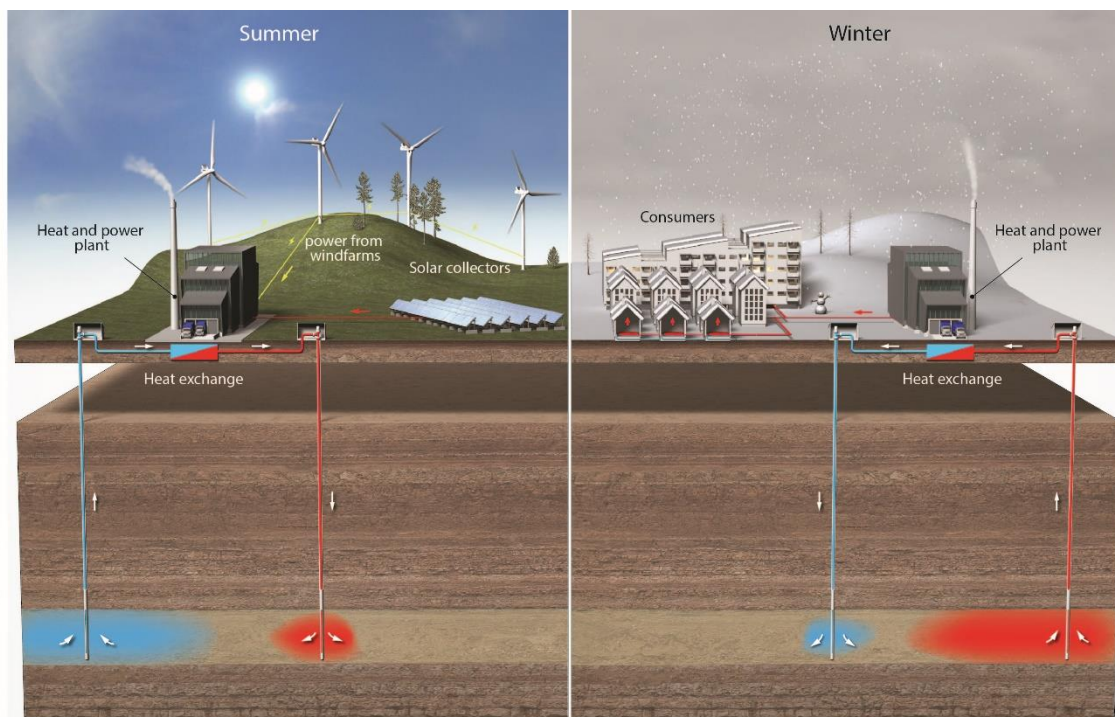
I HEATSTORE undersøges potentialet for (HT)-ATES, BTES og PTES i de europæiske partnerlande. I det følgende gives en kort introduktion af de enkelte teknologier.

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 $>60^{\circ}\text{C}$.

I grundvandsmagasiner 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 $30\text{--}60^{\circ}\text{C}$ (medium-temperature, 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 $30\text{--}35^{\circ}\text{C}$ (Miljøstyrelsen 2016).

Nedenstående Figur 2.1 illustrerer princippet ved ATES sæsonlagring i et fjernvarme netværk. I sommerperioden vil eksempelvis 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 2.1. 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-sø & Vangkilde-Pedersen, 2019).

2.3.2 BTES (borehulslager)

BTES eller borehulslagre 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 boringerne er cementeret i forseglingsmateriale (benævnt grout), og boringerne 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 kraftvarmeværker 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 boringerne. Formen har endvidere 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 Odense, 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.

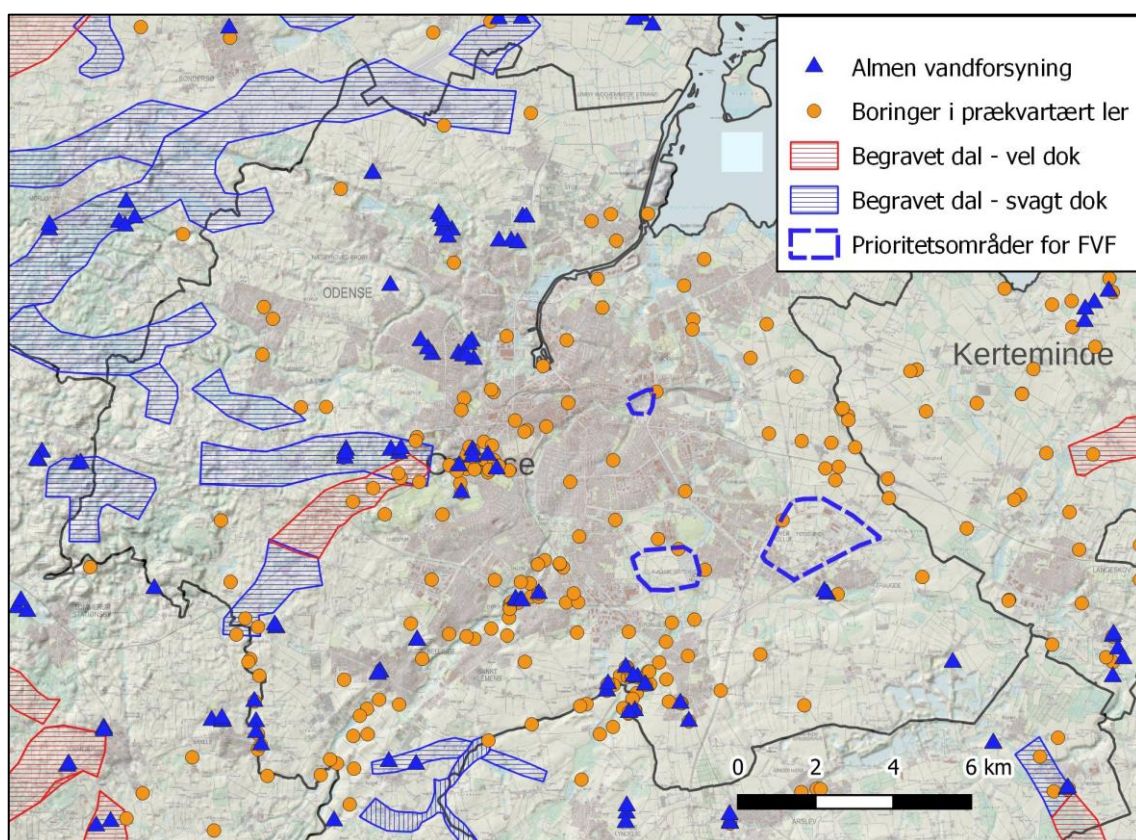
Tabel 2.1. Fokuspunkter i den geologiske udredning. Grøn farve markerer højt fokus.

Fokuspunkter	(HT)-ATES	BTES
<i>Geologien i 0-200 m's dybde</i>		
<i>Geologiske strukturer – fx begravede dale</i>		
<i>Sammensætning af de kvartære sedimenter</i>		
<i>Er der områder med en tyk umættet zone?</i>		
<i>Karakteristika for de prækvartære sedimenter</i>		
<i>Tykkelse og udbredelse af eventuelle magasiner</i>		
<i>Drikkevandsinteresser</i>		
<i>Grundvandskemi og -kvalitet</i>		
<i>Eksisterende kendskab til magasinydelser</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.

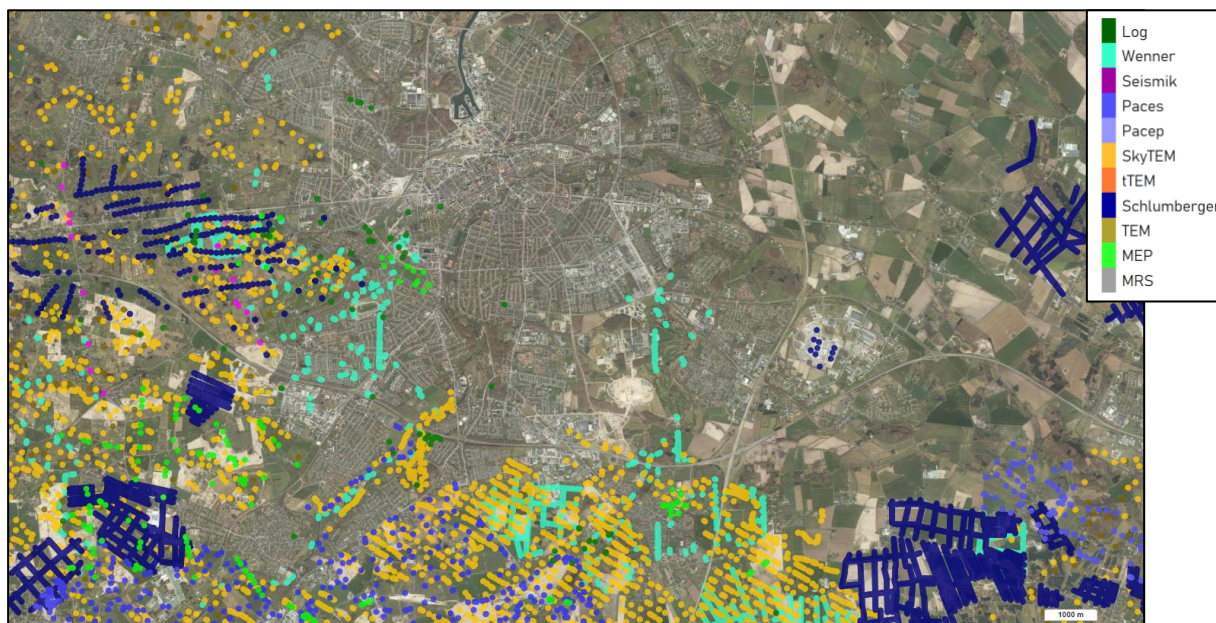
2.4 Dataoverblik

Datagrundlaget til vurdering af geologien i Odense området udgøres af borer i [Jupiter](#) databasen og geofysiske data i [Gerda](#) databasen. På nedenstående Figur 2.2 er vist aktuelle vandforsyningsboringer (tilknyttet almene vandforsyninger) for at give et overblik over, hvor indvindingen af drikkevand sker. Ligeledes er vist borer der træffer prækvartært ler og dermed typisk er dybere borer som gennemborer hele den kvartære lagserie samt tolkede begravede dale.



Figur 2.2. Oversigt over aktive vandindvindingsboringer; borer der træffer prækvartært ler og kortlagte begravede dale. Kommunegrænser er vist med grå linjer.

Figur 2.3 viser de indsamlede 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).



Figur 2.3. Overblik over geofysiske data tilgængelige i og omkring Odense. Legende for datatype ses øverst til højre. Det ses at de geofysiske data overvejende er indsamlet på åbne arealer syd og vest for Odense by, og ligeledes er knyttet til områder der er udpeget som områder med særlige drikkevandsinteresser (OSD).

Især TEM/SkyTEM data giver informationer om overgangen fra kvartæret til de prækvartære lere og kalken. Det bedste datagrundlag findes i den sydlige og vestlige del af Odense, hvor de største grundvandsinteresser er. De geofysiske data er få i den østlige del, så den geologiske vurdering vil her overvejende basere sig på boringsdata.

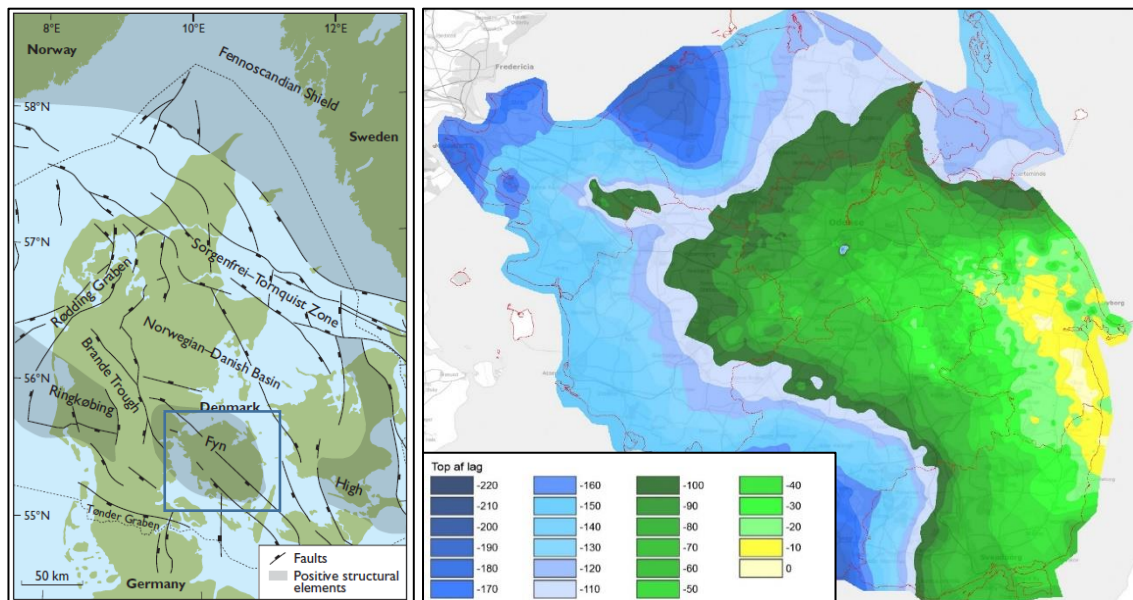
2.5 Geologisk ramme

2.5.1 Strukturel ramme

Fyn er beliggende ovenpå en VNV-ØSØ til NV-SØ orienteret højderyg med højtliggende grundfjeld kaldet Ringkøbing-Fyn højderyggen, se gråskravering på Figur 2.4. Højderyggens tilstedeværelse ses tydeligt i kalkoverfladens højdeforhold (Danienkalk/Skrivekridt) med en hældning mod sydvest, vest og nord – væk fra Odense området. Det er visualiseret tydeligt på kortet til højre i Figur 2.4, der viser topkoten for kalk tolket i den geologiske/hydrostratigrafiske model for Fyn kortlagt i forbindelse med den nationale grundvandskortlægning (Orbicon 2018).

Det ses på den viste kalkoverflade (Figur 2.4), at kalken danner et NV-SØ orienteret højdedrag, hvor kalken ligger tæt på terrænoverfladen ved Nyborg i øst og falder i kote mod vest. Undersøgelser af boringer og geofysik ved Nyborg (Mielby & Sandersen 2005) har vist en stor fold i de prækvartære aflejringer med en akse forløbende ca. NV-SØ. Aksen af folden er kippet mod NV i overensstemmelse med kalkoverfladens udformning og den prækvartære

lagserie er præget af sprækker og forkastninger med NV-SØ og NØ-SV orienteringer. Ved at ekstrapolere de iagttagede forkastningsmønstre ved Nyborg ind i det overordnede strukturelle billede for Fyn, vil man for den centrale del af Fyn ved Odense også kunne forvente sprækker og forkastninger i den prækvartære lagserie med de to overordnede orienteringer omkring NV-SØ og NØ-SV.



Figur 2.4. Venstre: Overblik over dybe geologiske strukturer i Danmark. Fyn er beliggende på Ringkøbing-Fyn højderyggen vist med grålig skravering. Højre: Tolket topkote for kalken på Fyn (Orbicon 2018).

2.5.2 Prækvartæret

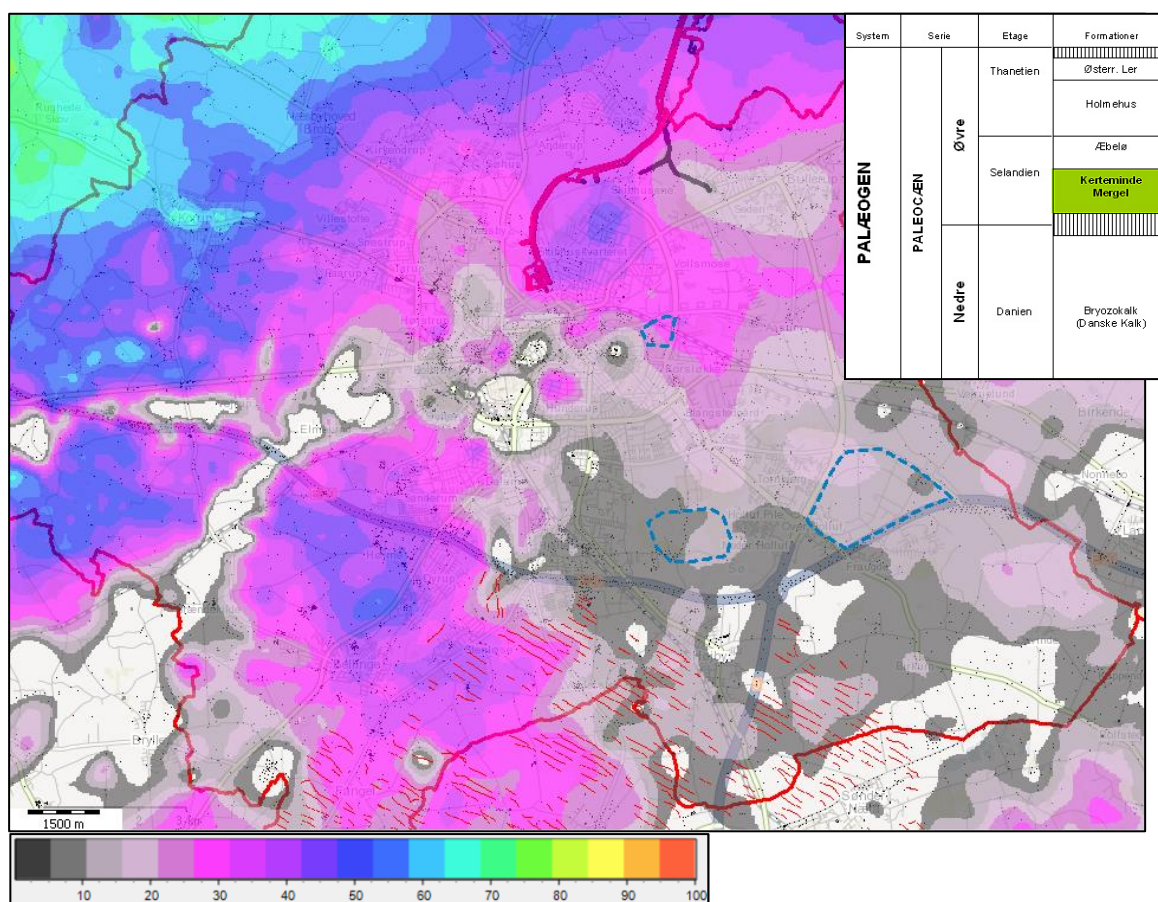
Den del af den prækvartære lagserie, som nås af vandforsyningsboringer i området, udgøres af Skrivekridt fra Øvre Kridt, og herover kalk fra Danien (Paleocæn) og ler/mergel fra Selandien (Paleocæn). Sidstnævnte udgøres hovedsageligt af Kerteminde-mergel. Den dybest liggende og ældste aflejring - Skrivekridtet - er en finkornet, hvid kalkbjergart bestående primært af skeletter fra kalkalger, og mørk flint forekommer som spredte knolde eller langs



Figur 2.5. Foto af bryozobanker fra Danien ved Stevns klint. Øverst til højre ses zoom på bryozoer i finkornet, sandet matrix.

kridtets lagdeling (Thomsen 1995). Skrivekridtet er ca. 700 meter tykt på Fyn (DGU nr. 146.169 og 146.172).

Ovenover Skrivekridtet følger Danienkalk, som kan være såvel hård som blød. Kalken er ofte udviklet som en bryozokalk, typisk bestående af bryozoaer (historiske mosdyr med kalkskelet) i finkornet slam, se Figur 2.5. Ved borearbejde i Danienkalken knuses kalken og flint i kalken ofte, og nuancer kan være svære at registrere (Watertech 2004). Danienkalken er på Fyn omkring 50 m tyk, og der indvindes fersk grundvand i åbne eller filtersatte borer i dele af kalken med tilstrækkelig opsprækning og porøsitet. Især TEM/SkyTEM data bidrager til vurderingen af om der kan forventes zoner med fersk eller salt grundvand i den opsprækkede del af Kerteminde-mergelen eller Danienkalken. På Figur 2.6 ses tykkelseskort for de prækvartære lere/mergel som overligger kalken i Odense Kommune baseret på Fynsmodellen udarbejdet for Miljøstyrelsen (Orbicon 2018).



Figur 2.6. Tykkelseskort for de prækvartære lere/mergel som overligger kalken i Odense Kommune baseret på Fynsmodellen udarbejdet for Miljøstyrelsen (Orbicon 2018). Det ses, at de prækvartære lere og mergel udviser meget begrænsede tykkelser i den sydøstlige og østlige del af Odense Kommune (kommunegrænser er vist med røde linjer). Øverst til højre ses kronostratigrafien for de Paleocæne aflejringer over Skrivekridtet på Fyn. Prioritetsområder for FVF ses med blå stiplede polygoner.

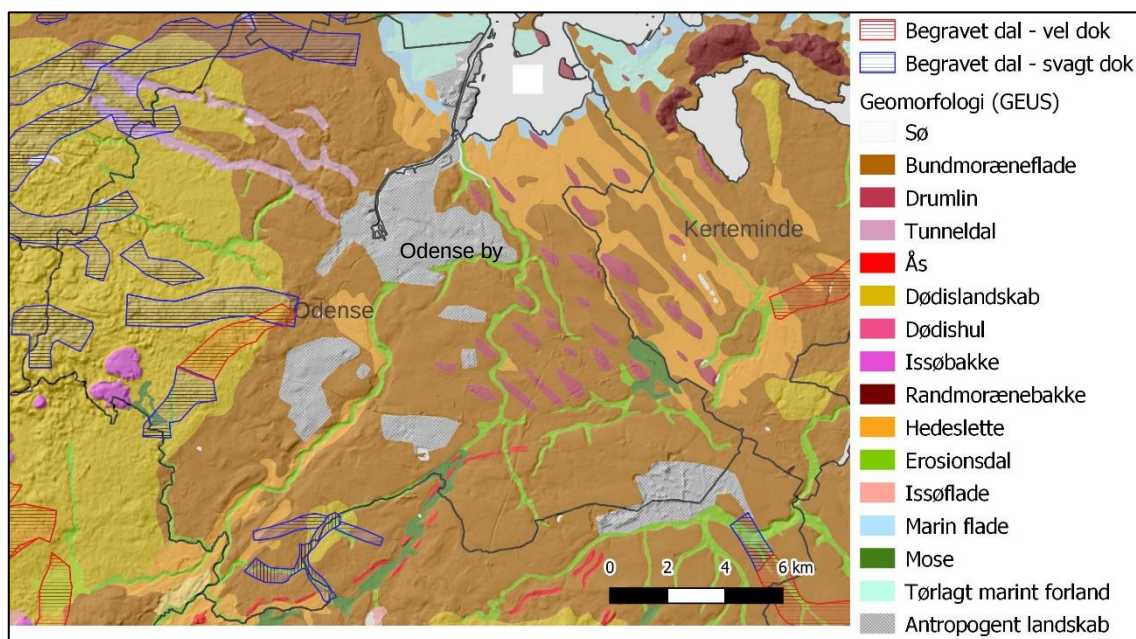
Den paleocæne Kerteminde-mergel kan optræde som blød, grå/olivengrå mergel med varierende kalkindhold, til grå, forkislet og hård skifermergel. Der beskrives tit en vekslen mellem bløde og forkislete lag i samme boring eller i nærliggende borer. De hårde, forkislete lag

er ofte beskrevet som værende opsprækkede. På Østfyn haves indslag af grønsand/grønsandskalk med et indhold af glaukonit. Tykkelsen af det paleocæne ler varierer meget på det centrale og østlige Fyn – stedvist er det helt borteroderet – mens det andre steder kan være >30 m tykt, se Figur 2.6.

Mange borer og TEM målinger viser, at der er salt porevand/grundvand i store dele af kalken, og det paleocæne ler der ligger over kalken forhindrer, at det salte grundvand opblandes med fersk grundvand ovenfra. I områder, hvor leret er opsprækket eller hvor dalstrukturer har eroderet de fede lere væk, kan der dog ske en transport af fersk vand til større dybde. Der er dog også eksempler på, at i områder med opadrettet trykgradient kan det dybe, salte grundvand stige opad i det øvre ferske grundvand (Sandersen m.fl. 2015).

2.5.3 Kvartæret

De kvartære aflejringer er domineret af moræne- og smeltevandsaflejringer dannet under istiderne, og det nuværende landskab på Fyn er primært formet af gletschere og smeltevand under sidste istid, Weichsel. Moræneler udgør en stor del af lagserien, mens der for smeltevandsaflejringerne vedkommende primært er tale om sandede lag. På Figur 2.7 ses de forskellige landskabstyper som dominerer i Odense området, og dermed indikerer hvilke aflejringer som træffes i den terrænnære geologi. I den vestlige del findes et topografisk højt dødislandskab, mens den sydlige og østlige del af Odense udviser en mere plan moræne-ersflade.



Figur 2.7. Geomorfologisk kort for Odense Kommune. Odense er beliggende på en bundmoræneflade der overvejende udgøres af moræneler (GEUS, 2018) Grå farve angiver bebyggede områder, og mod nordøst er kortlagt hedeslette-områder med overvejende sandede aflejringer. På kortet er ligeledes vist begravede dale (rød og blå skraver).

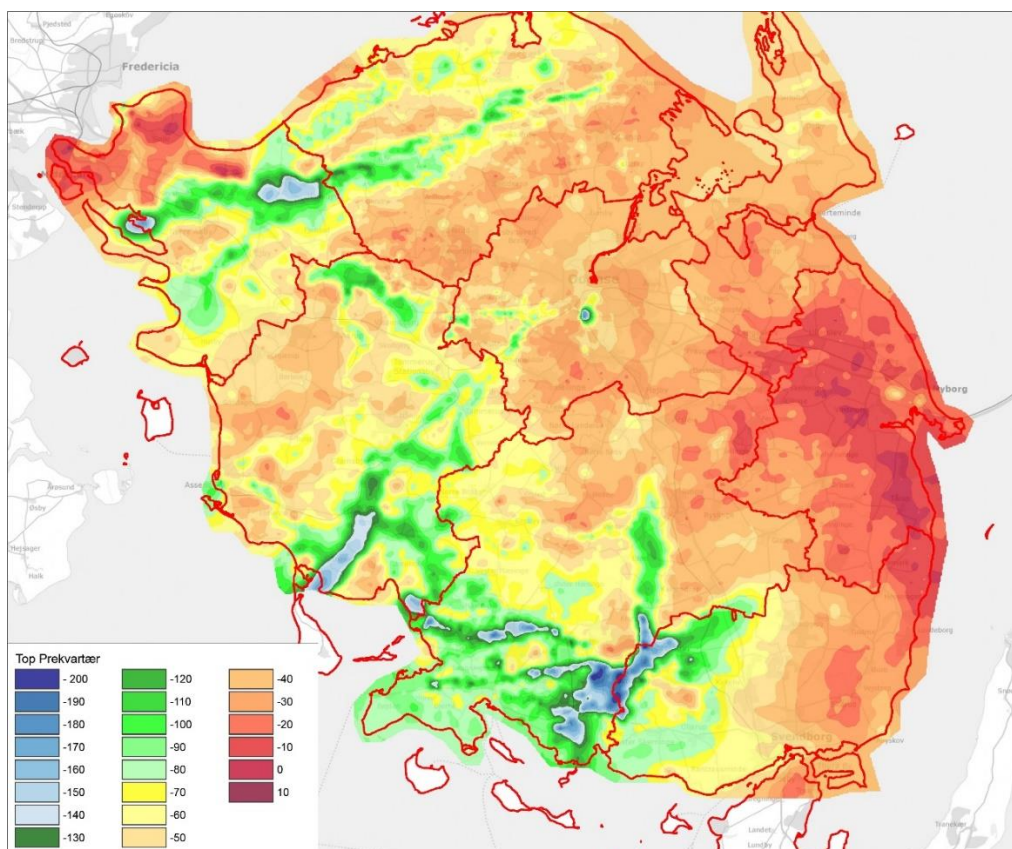
Mod øst ved Kerteminde forekommer mere sandede aflejringer i terræn, der er kategoriseret som hedeslette. Der ses på Midtfyn dybereliggende morænelerslag som vil være i direkte kontakt med det underliggende paleocæne ler, og der kan derfor være tale om en væsentlig opblanding af de to lertyper. Lerlagene kan derfor være svære at afgrænse i de geofysiske

undersøgelser, da modstandsvariationerne er små (Sandersen og Kallesøe, 2017). Samtidig ses også områder, hvor moræneleret indeholder et højt oparbejdet indhold af kalk, hvilket resulterer i forholdsvis høje elektriske modstandsværdier i TEM data. Som følge af markante isstrømninger under det seneste isfremstød under sidste istid, ses aflange bakkestrøg med en NV-SØ orientering i landskabet, se de aflange bakker (drumlins) på Figur 2.7.

2.5.4 Kortlagte begravede dale

Der er kortlagt flest dybe begravede dale i den vestlige del af Odense Kommune, hvor tykkelserne af kvartæret og de palæogene lere er størst, se Figur 2.2 og Figur 2.8. Disse begravede dale indeholder tykkere sekvenser af sandede smeltevandsaflejringer, og er flere steder eroderet ned i kalkoverfladen. Flere af dalene fungerer som vigtige grundvandsmagasin i drikkevandsforsyningen, og er derfor ikke relevante i en varmelagringskontekst.

I den østlige del af Odense er der ikke fundet tilsvarende dale, hvilket formodentligt kan relateres til andre drænings- og trykforhold under istidens gletschere, med kalken tættere på terrænet og mere begrænsede tykkelser af de prækvartære lere (Sandersen & Jørgensen, 2016). På Figur 2.8 er vist et kort for den prækvartære overflade på Fyn (Orbicon, 2018), der tydeligt illustrerer, hvor der er kortlagt begravede dalstrukturer, som stedvis er eroderet dybt. Dalene træder frem som gullige, grønne og blålige strukturer på kortet.



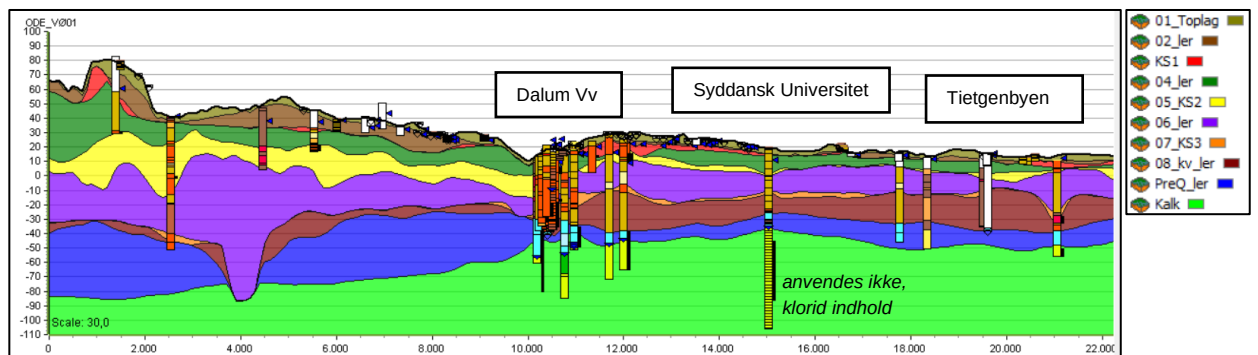
Figur 2.8. Den tolkede prækvartære overflade fra Fynsmodellen (Orbicon 2018), hvor nedskårne begravede dale fremstår tydeligt med gule til grønne til blå farver.

3. Geologisk sammenstilling og tolkning

3.1 Tolkning af geologi og hydrogeologi

Fjernvarme Fyn har tilkendegivet, at den største interesse for varmelagring af overskudsvarme findes i den sydøstlige og østlige del af Odense ved Tietgenbyen og det nye Odense Universitetshospital (OUH), samt delvis ved Ejby Mølle renseanlæg. Tolkningen af geologien med henblik på UTES potentiale vil derfor fokusere på denne del af Odense. Til trods for en fokusering på tre specifikke områder beskriver gennemgangen de geologiske trends i hele den østlige og sydøstlige del af Odense.

På nedenstående Figur 3.1 ses et vest-øst tværprofil gennem den sydlige del af Odense Kommune, hvor de seneste regionale geologiske tolkninger af lagenheder er vist. Tolkningerne er baseret på boringsdata og geofysiske data jf. afsnit 2.4.



Figur 3.1. Vest-øst tværprofil gennem Odense Kommune i den tolkede Fynsmodel (Orbicon, 2018), der er en sammen-tolkning af tidligere lokalmodeller, se legende til højre. KS1, KS2 og KS3 er sandmagasiner, mens "PreQ_ler" er prækvartært ler eller mergel aflejret ovenpå Danienskalken. På den centrale del af profilet ses boringer ved Dalum Vandværk, mens profilet går gennem Tietgenbyen i den østlige del.

Profilet illustrerer, hvorledes kalken falder i kote mod vest og det prækvartære ler bliver tykkere (blåt lag). Ligeledes ses også, at udbredelsen af sandenheder i øst er færre (og tyndere), og boringsdata viser tykkere sekvenser af moræneler, se f.eks. boringen ved Syddansk Universitet (profilmeter 15.000, Figur 3.1).

3.1.1 Gennemgang af boringer i Odense S/SØ

Der er lavet en gennemgang af boringsbeskrivelser i boringsdatabasen Jupiter, af både aktive og sløjfede boringer, der træffer/er filtersat i Danienskalken eller Kerteminde-mergel, se Tabel 3.1 og Figur 3.2. Boringsgennemgangen viser generelt:

- Flere af boringerne, der træffer prækvartæret, er gamle og er efterfølgende 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/mergelen er lavt ydende (der ses en stor sænkning af grundvandsspejl).

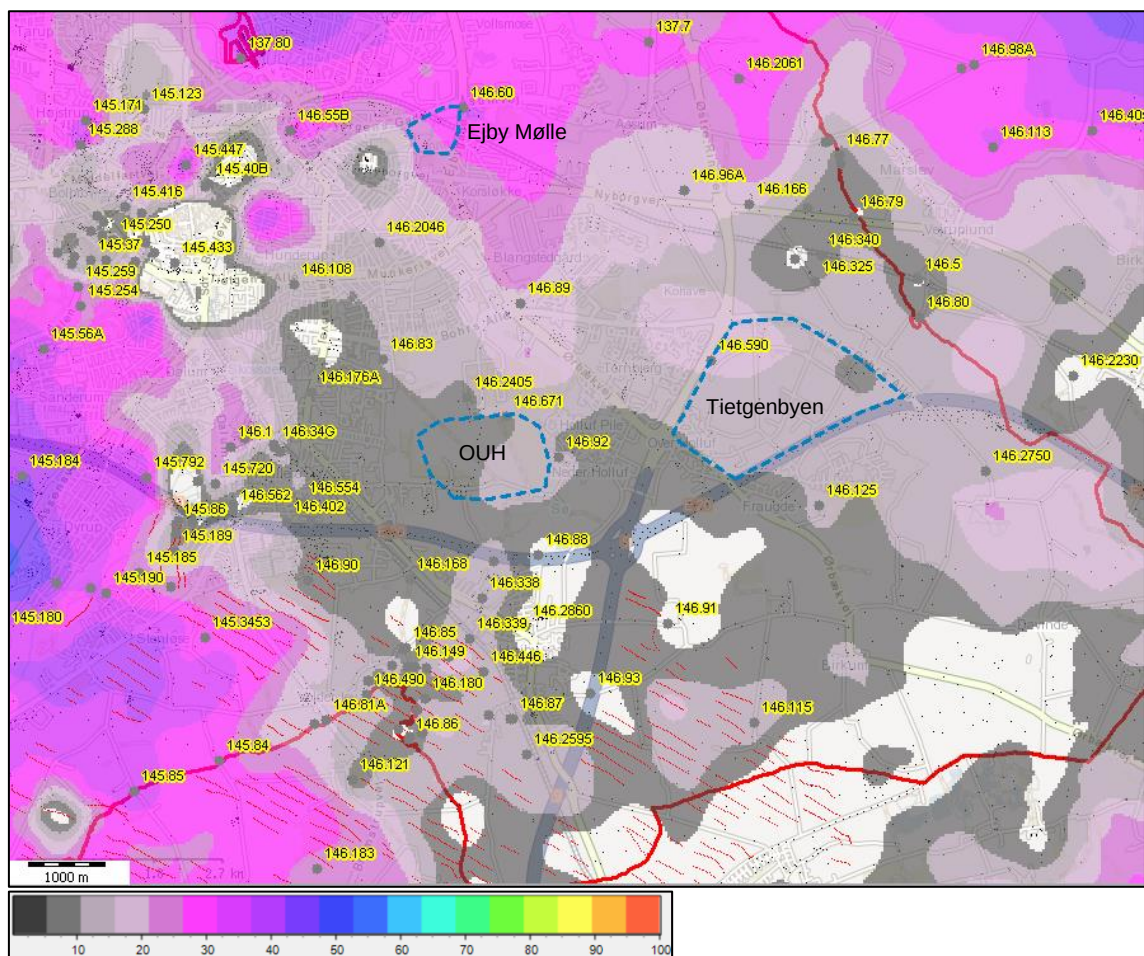
- Grundvandskemien i de dybe lag viser et højt kloridindhold (residuelt saltvand), hvilket betyder vandet ikke egner sig til drikkevand eller markvanding.

Tabel 3.1. Gennemgang af dybe borer i Odense, der træffer kalken/er filtersat i kalken (Kilde: Jupiter, GEUS).

Boring	Dybde (m)	Filterdybde (m)	Bemærkning
145.281	88	Åben boring i kalk?	Gammel boring fra 1957. Der er angivet en lav ydelse, ukendt status.
145.2023	103	65-103	Dalumværket. Sløjfet boring, svagt forhøjet indhold af klorid (353 mg/l), forventet lav ydelse på <10 m ³ /t pr. m sænkning.
145.2025	90	65-90	Eksercermarken. Aktiv vandforsyningsboring (VCS), filtersætning i "blød, løs bryzokalk" (Danien), specifik ydelse på >20 m ³ /t pr. sænkning.
145.3261	132	Ikke beskrevet	Undersøgelingsboring Odense C. Ydelse 40m ³ /t – sænkning på 15 m, kloridholdigt vand. Boringen er logget.
145.125	100	Ikke beskrevet	Dalum Vandværk. Opgivet/sløjfet boring fra 1948, noteret ydelse <10 m ³ /t pr. m sænkning.
145.433	201	153-158	Eksercermarken. Opgivet/sløjfet boring, boringen viser kvartære sedimenter til stor dybde, højt kloridindhold i de dybeste filtre. Usikkerhed om ydelse.
146.92	70	46-70	Neder Holluf. Opgivet borer fra 1938, ingen information om ydelser, vandanalyse viser ikke tegn på forhøjet kloridindhold.
146.125	98	57-98	Fraugde. Opgivet boring, lav specifik ydelse (<10 m ³ /t), kloridholdigt vand.
146.553	92	65-92	Hjallese. Sløjfet boring, rimelig vandkemi, lav ydelse på <10 m ³ /t.
146.671	127	65-107	Hollufgård, Odense SØ. Markvandingsboring med langt filter i bryozokalk (65-107 m's dybde), ydelse 35m ³ /t ved 48 t pumpning (sænkning på >25m). Original borerapport beskriver indhold af klorid i vandet.
146.2046	90	Ikke specificeret	Odense M, civilforsvaret. Filtersætning i Danienkalk, meget ringe ydelse, ingen anvendelse, ingen kemianalyser tilgængelige.
146.2230	38,5	35-38,5	Privat vandforsyningsboring, Langeskov – vest for Tietgenbyen. Træffer grønsandsten/Kerteminde-mergel i kote -20 m. Boringen viser lav ydelse, men ikke forhøjet klorid.
146.2235	78	48-72	Fraugde-Kærby – nord for Tietgenbyen. Boringen træffer formodet Kerteminde-mergel der er opsprækket, lav ydelse, forhøjet indhold af klorid.
146.2402	100	69-99	Syddansk Universitet. Ingen anvendelse, 30 m lang filterstrækning, meget lav ydelse, vandanalyse viser ikke forhøjet indhold af klorid.

Enkelte af borerne er opbygget med et langt filter med gruskastning i Danienkalken, eksempelvis den nyere boring 146.2402 ved Syddansk Universitet. Men en lav ydelse her antyder en begrænset opsprækning og vandgennemstrømning i kalken.

Figur 3.2 viser borer, der træffer prækvartæret sammenholdt med tolket tykkelse af prækvartært ler/mergel over kalken. Mægtighederne indikerer i hvor høj grad der kan forventes opsprækning i kalkmagasinet som følge af det massive tryk fra gentagne gletscherfremstød ind over området.

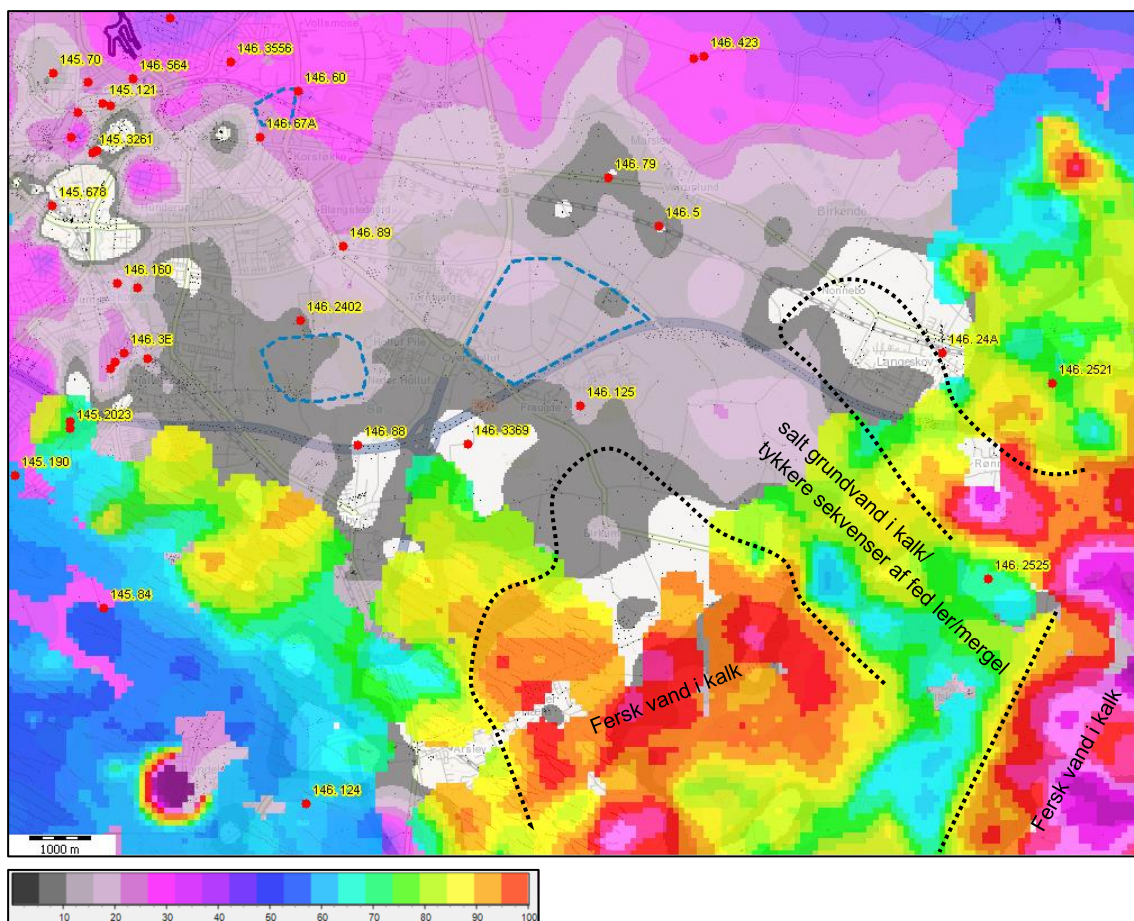


Figur 3.2. Tolkede tykkelser af prækvartært ler/mergel over Danienskalken (Orbicon 2018) og Jupiter borer der an-borer prækvartæret. FVF prioritetsområder er vist med blåstiplede polygoner.

3.1.2 Sammentolkning med geofysik

De eksisterende TEM og SkyTEM data i periferien af områder prioriteret af FVF kan benyttes i en tolkning af, om der i kalken kan forventes fersk eller salt grundvand. Dette skyldes, at saltholdigt vand med mange frie ioner vil respondere som en god elektrisk leder med lave elektriske modstande. Fersk vand i kalken vil derimod give et højere modstandsrespons.

Figur 3.3 er en sammenstilling af elektriske modstande for TEM/SkyTEM data i kote -50 m (svarer til den øverste del af kalken i området), udsøgte borer med vandanalyser der viser et forhøjet indhold af klorid, samt tykkelser af fed ler/mergel ovenpå kalken. Tilsammen giver data et bud på, hvor der kan forventes fersk vand i kalken som følge af begrænset tykkelse af prækvartæret, og dermed formodet opsprækning og udvaskning af det salte grundvand. På figuren er vist en skitsering af fersk og salt grundvand og/eller tykkere sekvenser af fed ler/mergel.

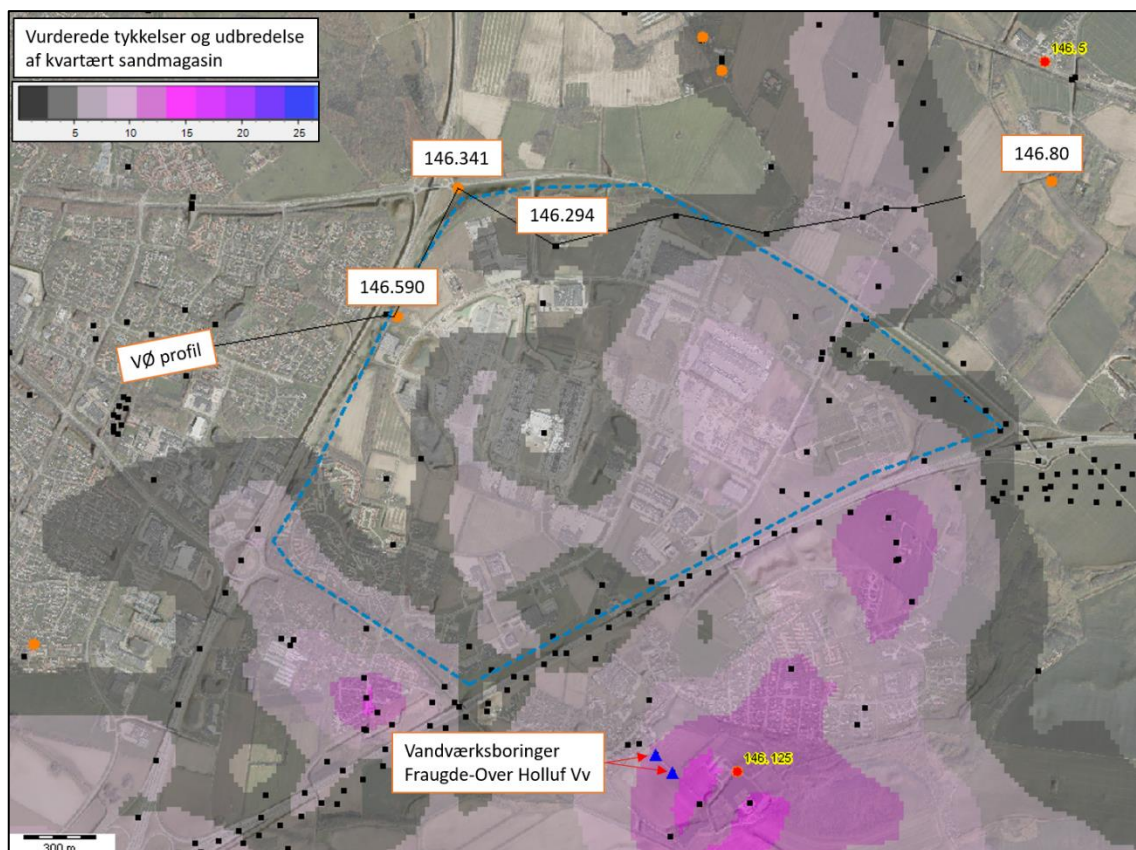


Figur 3.3. TEM modstandskort for kote -50 m, boreriger med kloridindhold på >250 mg/l og tykkelse af prækvartært ler. FVF-prioriterede områder er vist med blåstiplede polygoner.

Sammenstillingen af data indikerer, at kalken under de FVF-prioriterede områder må formodes kun at være opsprækket i begrænset omfang, da der ses tykkelser af fed ler/mergel på 10-30 m og nærliggende boreriger viser forhøjet indhold af klorid, som tyder på begrænset, hvis nogen, udskiftning af grundvandet.

3.1.3 Geologien ved Tietgenbyen

Det geologiske datagrundlag ved Tietgenbyen begrænser sig til få boreriger, hvor de tre dybeste er beliggende i den nordlige del (DGU nr. 146.590, 146.341, 146.294), se Figur 3.4. Tykkelsen af kvartæret er ca. 50 m og domineres af moræneler. Mod syd og sydøst findes et magasin af smeltevandssand (10-15 m tykt), som Fraugde-Over Holluf Vandværk indvinde fra. Sandmagasinet kiler dog ud mod nord under Tietgenbyen, se tolket udbredelse på Figur 3.4.

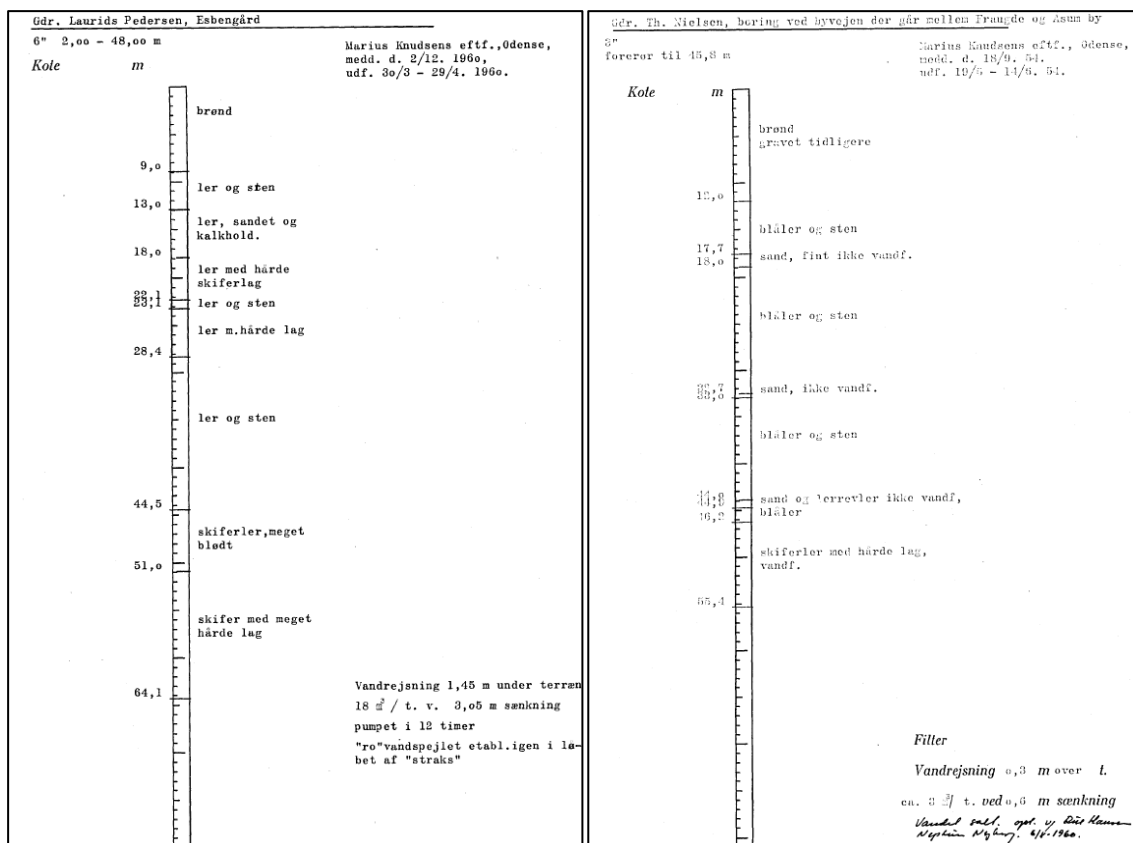


Figur 3.4. På kortet ses angivelse af dybe borer med anvendelig information, vurderet tykkelse og udbredelse af øvre sandmagasin, hvor der indvindes drikkevand syd for Tietgenbyen. VØ profilet er vist på Figur 3.6.

Der er ved gennemgangen af de fremhævede borer på Figur 3.4 kigget i de originale borerapporter (se også Figur 3.5). Det er gamle borer, hvor den yngste er fra 1974 (146.590), men samstemmende beskriver de en lagpakke domineret af moræneler (sandet og stenet, hvorunder der beskrives Kerteminde-mergel (blød, med hårde skifrige lag) fra kote ca. -30 m. Kerteminde-mergelen er ca. 15 m tyk, og herunder træffes Danienkalken. Kun DGU nr. 146.80 i øst anborer kalken (64 m's dybde).

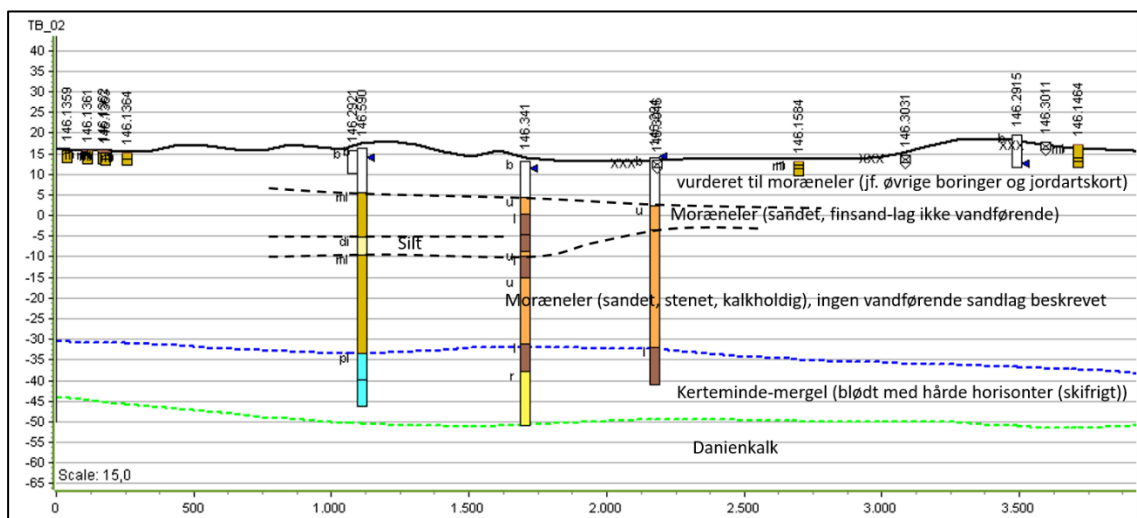
Sammenfattende er gjort følgende observationer:

- Boringerne er sløjfede eller opgivet.
- Der beskrives ikke vandførende sandlag i den gennemborede serie af moræneler.
- Moræneleret beskrives som sandet, stenet og kalkholdig. Den nedre del viser oparbejdet Kerteminde-mergel i morænen.
- Boringerne er afsluttet som åbne borer i Kerteminde-mergel uden filteropbygning.
- Kerteminde-mergelen beskrives som vandførende, hvor pumpetest i DGU 146.590 viser en pejlet vandstand på 4,5 m.u.t. og en sænkning på 1,8 m ved pumpning med en ydelse på 5 m³/t i 24 timer. I DGU 146.341 er der udpumpet 18 m³/t med en sænkning på 3 m (12 timers pumpning). Samtidigt beskrives, at der hurtigt er opnået ro i vandspejl efter stop af pumpning. Resultatet skal vurderes med stor forsigtighed, og en ny pumpetest vil være nødvendig for videre vurdering.
- Ved lokalisering af DGU 146.294 (i 1975) er det noteret, at vandspejlet står over terræn (og forerøret i boringen), hvilket tyder på artetiske forhold i magasinet.
- Der foreligger ingen grundvandsanalyser af vandkvaliteten i de dybere lag.



Figur 3.5. Originale boringsbeskrivelser for DGU nr. 146.341 og 146.294.

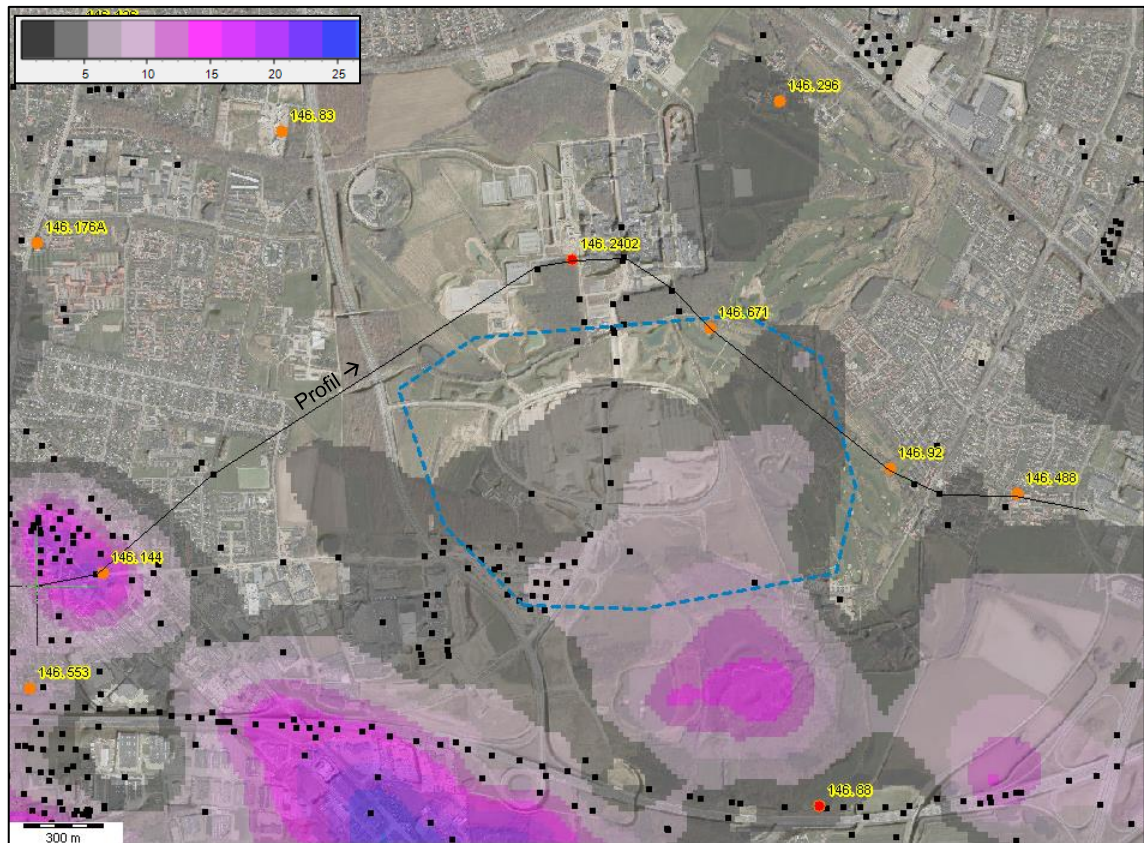
På Figur 3.6 er skitseret en tolkning af geologien baseret på boringsdata. Det vurderes, at der er moræneler fra terræn på baggrund af korte borer i området og jordartskortet. Der ses i DGU 146.590 et ca. 5 m tykt siltlag, men ellers er det beskrevet som en forholdsvis homogen moræneler uden interne vandførende sandlag. Frekvensen i prøvebeskrivelserne er dog ikke kendt, hvilket betyder at der kan eksistere sandlag som ikke er beskrevet i boreringsrapporten.



Figur 3.6. VØ profil gennem den nordlige del af Tietgenbyen med tolkning af geologiske enheder. Profilets forløb er vist på Figur 3.4.

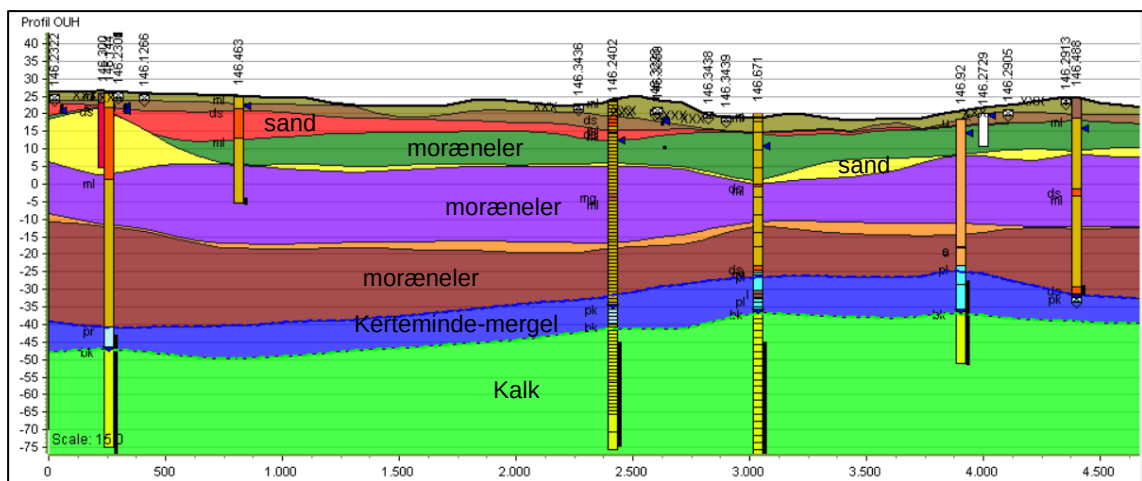
3.1.4 Geologien ved det nye Odense Universitetshospital (OUH)

Undersøgelingsboring DGU nr. 146.2402 fra 2002 ved Syddansk Universitet (se placering på Figur 3.7) giver en god beskrivelse af de lokalgeologiske forhold. Boringen blev udført med det formål at forsyne kølevand til universitetet, men prøvepumpningen viser begrænset permeabilitet i kalken ift. at indvinde og injicere tilstrækkelige mængder grundvand. Boringen har ingen anvendelse i dag.



Figur 3.7. Oversigt over boringsdata og forventet udbredelse af regionalt kvartært sandmagasin (se legende øverst til venstre). Blå stiplede polygon angiver området ved det nye Odense Universitetshospital. Tværsnitsprofilen er vist på Figur 3.8.

Der vurderes kun i begrænset udstrækning at være øvre grundvandsmagasiner til stede, da lagserien domineres af moræneler. Dog har DGU 146.2402 en prøvefrekvens med beskrivelser for hver meter, så der fremstår også tynde lag af mere grovkornet karakter, såsom smeltevandssand, morænesand og morænegrus, i beskrivelsen. I disse sekvenser må formodes at være et lokalt grundvandsflow. I forhold til prækvartæret, der træffes i ca. 50 m's dybde viser både 146.2402 og 146.671 et højt kloridindhold i grundvandet indvundet fra Kerteminde-mergelen og Danienkalken. Samtidig viser prøvepumpning i DGU 146.2402 (se profilmetern 2400 på Figur 3.8) en lav ydelse med en oppumpningsrate på 15 m³/t og en sænkning på 43 m til trods for en 30 m lang filtersætning med gruskastning om filteret.



Figur 3.8. Tværsnitsprofil gennem relevante borer i OUH området. Profils forløb er vist på Figur 3.7.

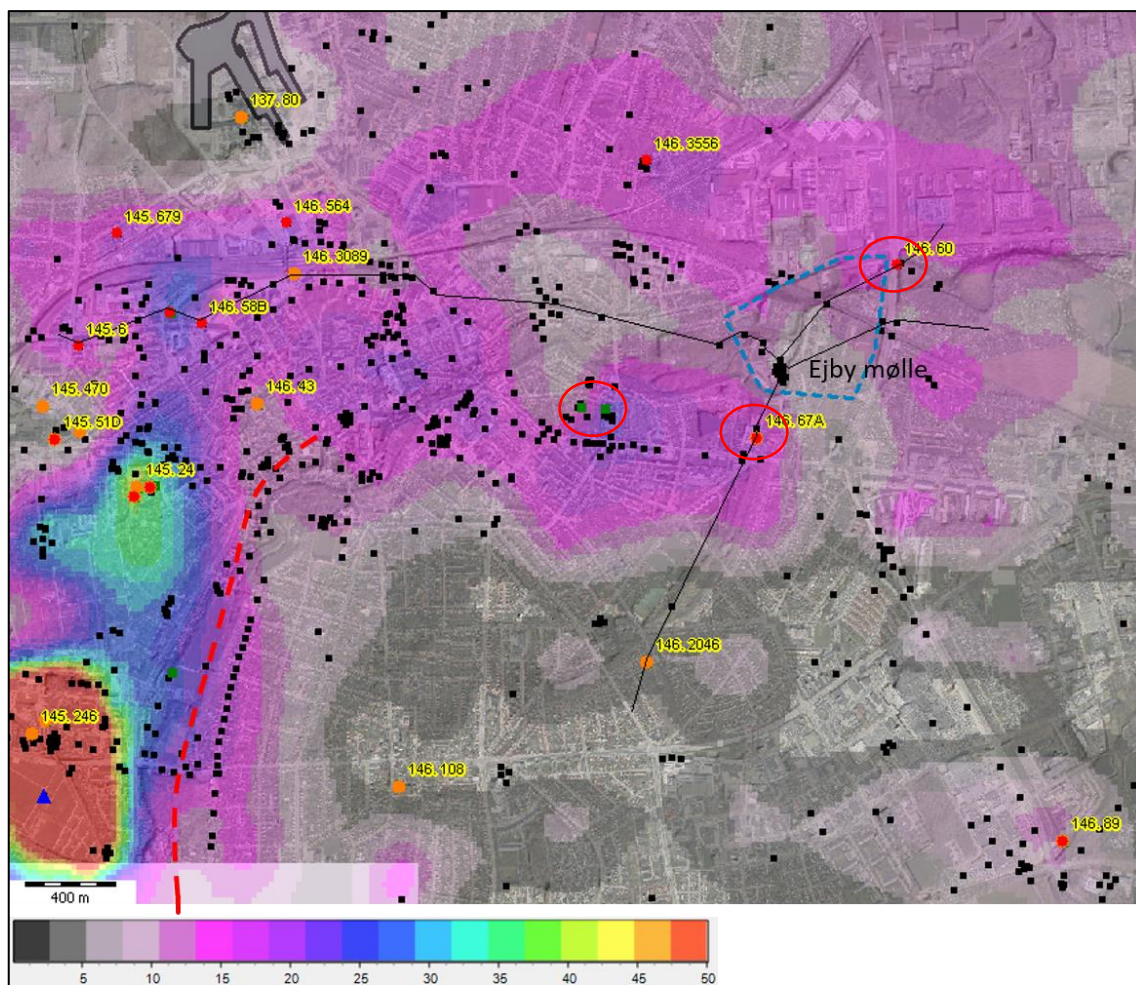
3.1.5 Geologien ved Ejby Mølleby

Ejby Mølle området er beliggende i Odense Å dal, der er et lavtliggende område med terrænkoter på under 10 m, og med organiske sedimenter i de øverste meter af lagserien. Der ses generelt en mere vekslende Kvartær lagserie med en højere andel af smeltevandssand end ved OUH og Tietgenbyen.

Der er forholdsvis få dybe borer, ingen geofysik, men flere korte borer i lokalområdet, se Figur 3.9. På figuren ses den tolkede udbredelse af sammenhængende forekomster af smeltevandssand, som findes i kote ca. -15 til -30 m, og som er bekræftet i flere borer, eksempelvis borer ved Ejby Mølle renseanlæg (Sandersen et al., 2015). Den terrænnære del af lagserien udgøres primært af moræneler (beskrives som siltet til sandet), hvilket bl.a. ses i en klynge af geotekniske borer på renseanlægget der er op til 15 m dybe. Mod Odense centrum i vestlig retning er der kortlagt større mængtigheder af smeltevandssand, og her findes en dalstruktur, muligvis relateret til en forkastningszone, hvor skrivekridtet først træffes i 180 m's dybde i boring DGU 145.433, se Figur 3.9.

Overgangen til prækvartæret (Kerteminde-mergelen) forventes allerede i kote ca. -25 til -30 m lokalt ved Ejby Mølle. De tre nærmeste borer der træffer Danienskalken ligger vest og syd for Ejby Mølle (DGU nr. 146.65C, 146.2154 og 146.2046). Her anbores kalken i kote -50 m. Tykkelserne af det prækvartære ler forventes dermed at være mindst 15 m under Ejby Mølle, og med stigende mængtigheder mod nord.

I de borer, hvor der ved etablering er taget vandprøver fra Kerteminde-mergel eller Danienskalk ses forhøjet indhold af klorid (se røde punkter på Figur 3.9). Også i vest, hvor kalken findes dybere på grund af erosion, ses residualt saltvand. I boring DGU nr. 145.3261 (placeret ca. 2 km vest for Ejby Mølle) viser f.eks. en geofysisk log for fluid ledningsevne først en markant stigning fra 100 m's dybde, hvilket tolkes til salt grundvand i en begravet dal.



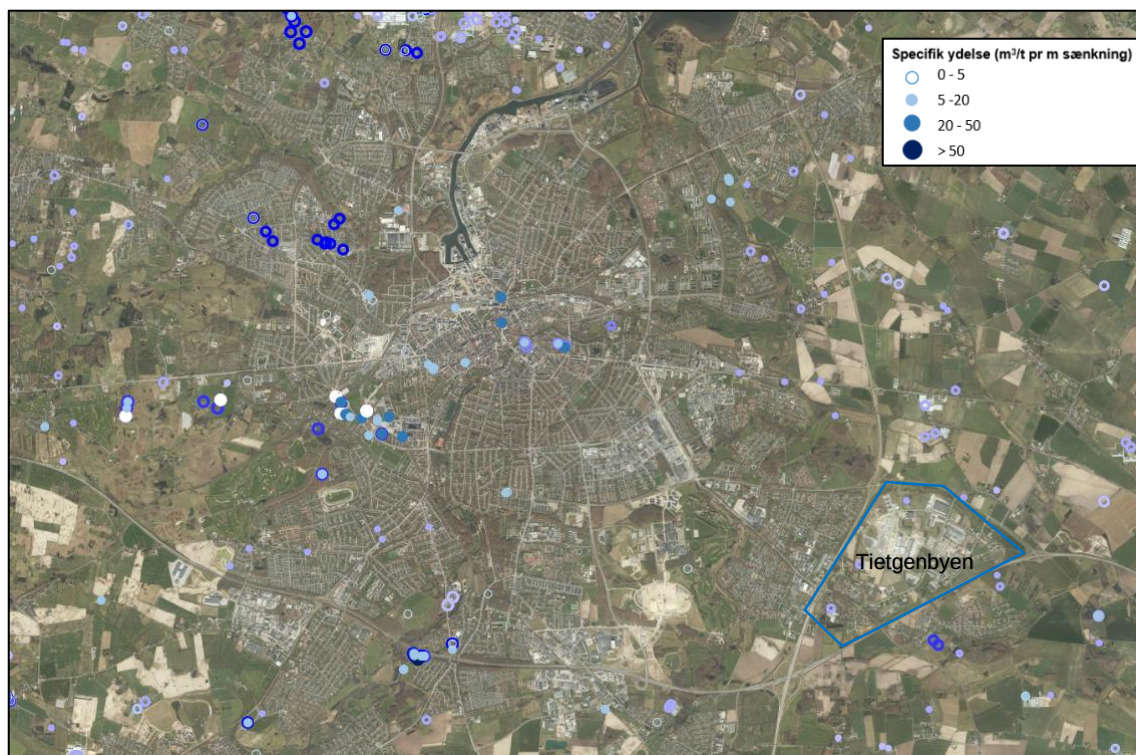
Figur 3.9. Oversigt over Odense med fokus på Ejby Mølle (blå stiplet polygon). Som baggrund ses tolkede tykkelser af regionalt sandmagasin (se legende nederst). Omkring Ejby er sandmagasinet ca. 5-15 m tykt. Boringer er vist med sorte punkter, og røde punkter er borer med analyser der angiver et kloridindhold >250 mg/l og typisk filtersat dybt. De tre nærmeste borer som anborer mergel er indrammet med rød cirkel. Rød stiplet linje angiver afgrænsning af formodet begravet dal. Sorte linjer angiver hhv. et VØ- og SN-profil vist i Figur 3.10.

Nedenfor på Figur 3.10 ses to tværsnitsprofiler – et VØ og et SN orienteret. Her er vist de boringsdata, som danner grundlag for vurderingen af geologien i området, og som kan sammenfattes med følgende:

- Tilstedeværelse af terrænnært sandmagasin med forventet hydraulisk forbindelse til begravet dal i vestlig retning. Magasin anvendes ikke til lokal drikkevandsindvinding.
- Mod syd udgøres den kvartære lagserie overvejende af moræneler, og tykkelserne af det underliggende Kerteminde-mergel er ca. 10 m.
- Mod nord øges tykkelserne af Kerteminde-mergel, og der er kvartære lag af finsand.
- Alle tilgængelige vandanalyser fra Kerteminde-mergel eller kalk viser forhøjet indhold af klorid og forventede lave magasinindhold.

3.2 Grundvand, vandkemi og drikkevandsinteresser

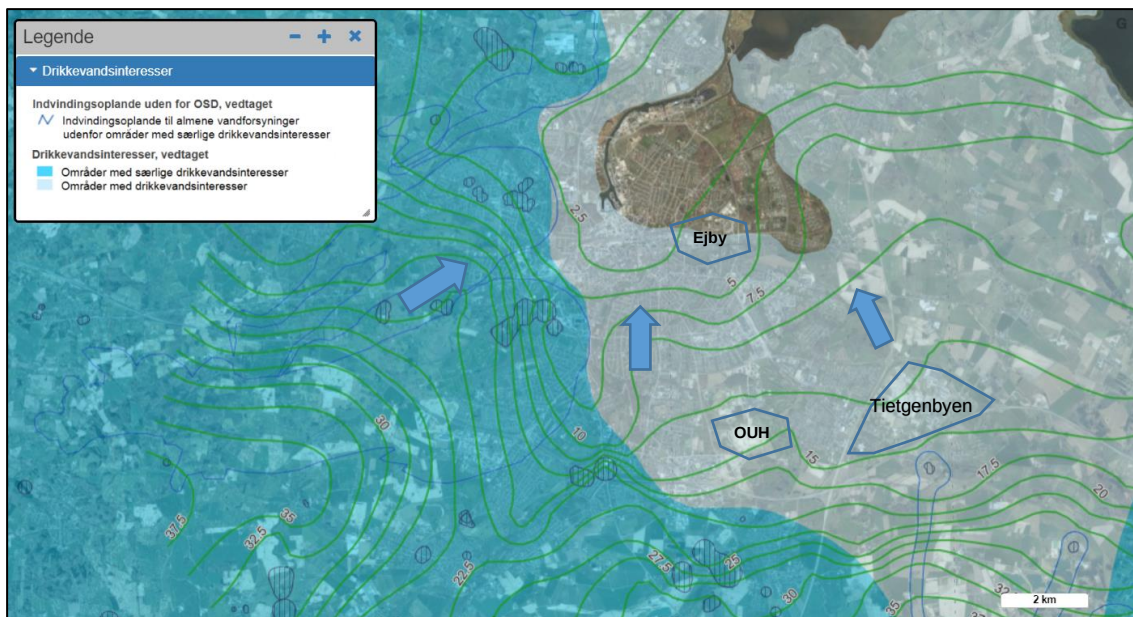
Det er via GEUS' screening tool for varmelagring ([GEUS varmelagring](#)) muligt at se et udtræk af magasinydelser (m^3/t pr. m sænkning) fra boringer i Jupiter databasen. På Figur 3.11 ses et udtræk for Odense området sammenholdt med aktive indvindingsboringer til almene vandforsyninger (blå ringe). Ydelserne er udsøgt for boringer med en filtersætning >25 m.u.t. og primært filtersat i smeltevandssand eller kalken.



Figur 3.11. Specifikke magasinydelser (m^3 vand/t pr. m sænkning) fra Jupiter boringer med filtersætning dybere end 25 m.u.t. De viste blå ringe repræsenterer indvindingsboringer til drikkevandsforsyning, hvor actual indvinding er meget sandsynlig (kilde: [GEUS varmelagring web tool](#)). Tietgenbyen er indtegnet med blå polygon.

Drikkevandsindvindingen sker, som tidligere nævnt, overvejende i den vestlige del af Odense, hvor de bedste grundvandsressourcer findes bl.a. i form af kvartære begravede dale. I den centrale del af Odense ses boringsindtag med vurderede ydelser på $20\text{--}50 \text{ m}^3/\text{t}$, mens indtag i den østlige del generelt udviser lave ydelser, jf. boringsgennemgangen i afsnit 3.1.1.

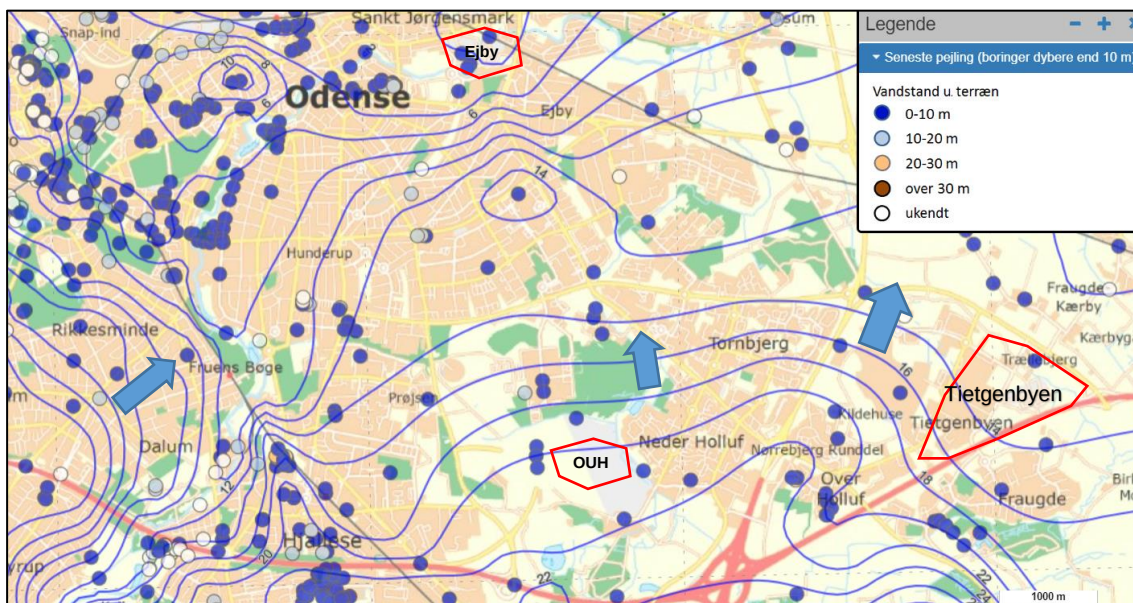
Figur 3.12 viser områder med drikkevandsinteresser og det regionale potentialebillede for kalken i Odense området. I den østlige del af Odense er der begrænsede drikkevandsinteresser. Grundvandsstrømningen i den opsprækkede del af kalken vurderes at være i retning mod Odense Fjord. Iht. vurderingen af varmelagringspotentiale, er det derfor vigtigt at notere sig, at en evt. varmefane vil bevæge sig mod nord/nordvest, hvis der eksempelvis etableres et geologisk varmelager i den sydlige eller sydøstlige del af Odense.



Figur 3.12. Markering af områder med særlige drikkevandsinteresser (OSD, mørk blå) og regionalt potentialekort for grundvand i kalken. De blå pile viser den forventede retning af grundvandsstrømningen mod Odense Fjord. FVF fokusområder er vist med blå polygoner (kilde: [GEUS varmelagring web tool](#)).

Nedenfor på Figur 3.13 ses det regionale potentialebillede for det mere terrænnære grundvand i Odense SØ. Strømningen vil overvejende være mod nord fra de sydlige områder, og med et roligt forløb. Ved Ejby må forventes et højere grundvandsflow. I Vest ses en strømning fra bakkerne mod øst. Punkttemaet viser, at grundvandsspejlet i borerer (dybere end 10 m) overvejende findes indenfor 0-10 m.u.t.

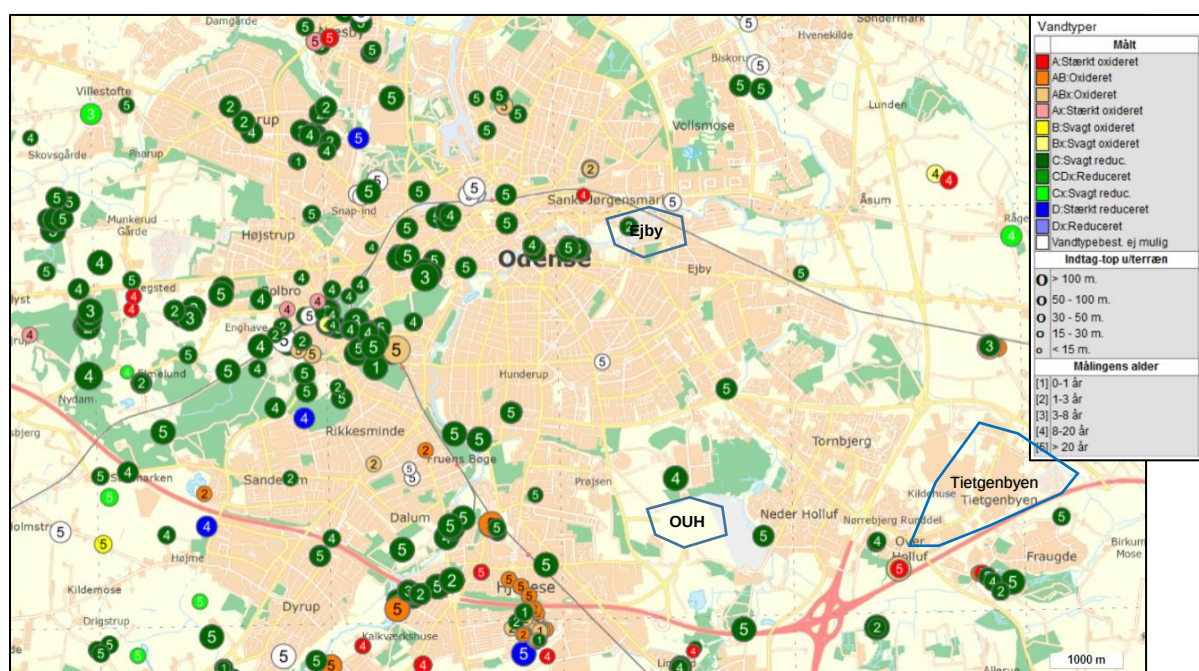
Hastigheden af grundvandsstrømningen er vigtig ved undersøgelse af UTES potentialet, og kræver mere præcise beregninger såfremt det bliver relevant.



Figur 3.13. Oversigt over det forventede potentialebillede i de øvre grundvandsmagasiner i Odense SØ. Grundvandsstrømning sker vinkelret på konturkurverne mod laveste potentiale (m). Dvs. der sker en generel strømning fra syd mod nord. I vest ses en strømning fra bakkeområderne mod de lavereliggende områder i øst. Med punkter er vist målt vandstand i borerer dybere end 10 m (kilde: [GEUS varmelagring web tool](#)). FVF fokusområder er vist med røde polygoner.

Grundvandskemi 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 varmelagringsmagasin. Figur 3.14 giver en oversigt over vandtyper beregnet fra filterindtag i borer. Vandtypen giver indirekte information om grundvandets kvalitet og påvirkning fra overfladen. Vandtyperne C og D viser reduceret vand, hvor der ses ingen eller meget lille påvirkning fra overfladen, og overholder typisk drikkevandskvalitetskriterierne.

Den dårligste vandkvalitet og oxideret vand (vandtype A og B) ses typisk i kortere borer med filtersætning i smeltevandssand, som i mere eller mindre grad har kontakt til overfladen. Jf. den geologiske tolkning og borigsgennemgang i afsnit 3.1 er der konstateret forhøjet kloridindhold i flere borer filtersat i kalk eller Kerteminde-mergel grundet residualt saltvand i bjergarten.



Figur 3.14. Oversigt over vandtyper fra filterindtag i Odense området. Vandtypen giver information om grundvandet og viser påvirkning fra overfladen (oxideret) eller om vandet er reduceret eller stærkt reduceret. Størrelsen af cirklene indikerer dybden til indtaget, se legende til højre (kilde: [GEUS varmelagrings web tool](#)).

Vandprøverne i FVF fokusområderne er gamle. Hvis der skal arbejdes videre med planer for geologisk lagring af varme vil det være relevant at tage nye vandprøver, og se om der sket en udvikling.

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 Odense området. Der har været fokus på især at afdække sammensætningen af de kvartære aflejringer, opsprækkethed og permeabilitet i Kerteminde-mergel og Danienkalken samt eventuelle magasinsammenhænge. Dette er centralt både ift. lukkede jordvarmeboringer som ved BTES og åbne systemer som ved ATES. De undersøgte fokusområder er ved Tietgenbyen, det nye OUH og Ejby Mølle 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. Derfor er området undersøgt for magasinegenskaber i Kvartæret, Kerteminde-mergelen og Danienkalken.

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

Muligheder
I Odense SØ og midtby er kun udpeget begrænsede eller ingen drikkevandsinteresser. Nærmeste drikkevandsindvinding er Fraugde-Over Holluf Vandværk der indvinder i et øvre sandmagasin (10-15 m tykt) beliggende ca. 500 m syd for Tietgenbyen, men som kiler ud mod nord.
Der er ikke fundet dybere drikkevandsinteresser ved de tre FVF fokusområder, da hovedparten af vandanalyser fra filtersatte boringer i Kerteminde-mergelen eller Danienkalken viser et forhøjet indhold af klorid og vandet dermed ikke er egnet til drikkevand eller markvanding. Kerteminde-mergelen træffes ca. 35-50 m.u.t.
Forventet rolig grundvandsstrømning i nordlig retning. Det regionale potentialebillede for Kerteminde-mergelen og kalken beskriver en grundvandstrømning mod Odense Fjord i nord, i et område uden drikkevandsinteresser.
Begrænsninger/udfordringer
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).
Der er ikke fundet udstrakte sandmagasiner ved Tietgenbyen eller OUH. Ved Ejby Mølle findes dog et terrænnært sandmagasin, hvor lavtemperatur varmelagring ikke kan udelukkes. Der kræves dog nærmere undersøgelser af kritiske parametre som varmeudbredelse til overfladen, hastigheden på grundvandstrømning i ådalen og vandkemi mv.
Kerteminde-mergelen og Danienkalken udviser på baggrund af boringsdata en varierende grad af hhv. skifrighed og opsprækkethed, og dermed også graden af vandføring.

Boringerne (ældre boringer) er formodentligt opgivet/sløjfet på grund af lav ydelse i mergelen/kalken (der ses en stor sænkning af grundvandsspejl).

Grundvandskemien i mergelen og kalken viser et højt kloridindhold, der indikerer residualt, salt grundvand i formationen og dermed begrænset udveksling af grundvand mellem magasinerne.

En af de nyere boringer i området ved OUH er undersøgelsesboring DGU nr. 146.2402 der træffer prækvartæret i ca. 50 m's dybde og viser et højt kloridindhold i grundvandet. En prøvepumpning med en oppumpningsrate på 15 m³/t giver en sænkning på 43 m til trods for en 30 m lang filtersætning med gruskastning om filteret, hvilket indikerer en meget lav ydelse.

Et andet og mere positivt eksempel som indikerer højere ydelse er boring DGU 146.341 lokaliseret i den nordlige del af Tietgenbyen (formodet sløjfet), hvor der ved etablering i 1960 blev udpumpet 18 m³/t med en sænkning på 3 m (ved 12 timers pumpning). Samtidigt beskrives det, at der hurtigt er opnået ro i vandspejl efter stop af pumpning, hvilket dog bør tolkes med forsigtighed.

Generelt er det begrænsede datagrundlag, bestående overvejende af ældre boringer og ingen geofysik, en begrænsende faktor med henblik på en detaljeret vurdering af de lokale forhold for prækvartæret.

Tykkelsen af Kerteminde-mergelen er en afgørende parameter ift. om Danienkalken er opsprækket. Samtidig er erosionerne i Kvartæret betydende for om Kerteminde-mergelen har magasinegenskaber eller om permeabiliteten er for lav.

Usikkerheder

Der er i Odense SØ ikke fundet dybe begravede dale, men boringsdata antyder terrænnære begravede dale ved f.eks. Ejby Mølle.

På baggrund af de få data kan glacialtektonik (forstyrrede geologiske lag) ikke opløses og modelleres, men der må formodes en vis forstyrrelse af aflejringerne grundet flere is-overskridelser hen over området.

Hovedparten af de dybe boringer er gamle og efterfølgende blevet sløjfet. Det har typisk været nødvendigt at undersøge indscannede boringsbeskrivelser for informationer.

Nyere pumpetest for Kerteminde-mergelen og Danienkalken mangler, med undtagelse af boring DGU nr. 146.2402 ved Syddansk Universitet.

Som angivet er permeabiliteten i Kerteminde-mergelen og Danienkalken helt afgørende for om et ATES anlæg er teknisk gennemførligt i Odense S/SØ. Erfaringer med HT-ATES fra især Holland viser, at grundvandmagasiner med hydrauliske ledningsevner på 3,5 - 8*10⁻⁵

m/s (hvilket svarer til finkornet sand) giver de optimale lagringsforhold. Den hydrauliske ledningsevne beskriver strømmingen af vand i et grundvandsmagasin, hvor for høje ledningsevner vil betyde større varmetab, mens lave ledningsevner ikke giver mulighed for tilstrækkelig vandudveksling. Erfaringsstudier og modelleringsstudier beskriver ligeledes, at borerer skal planlægges med et langt filter i magasinet, samt at et lager med en lagringstemperatur på eksempelvis 50°C bør kunne lagre 80.000-180.000 m³ vand/sæson for at opnå en tilstrækkelig høj effektivitet (Bakema & Drijver 2018).

Med udgangspunkt i ovenstående design guidelines, kan der foretages et tænkt eksempel. Det kan f.eks. antages, at der injiceres overskudsvarme (f.eks. 50°C varmt vand) ned i lagermagasinet (mergel/kalk) i en sommersæson på 4 måneder. Med et ønsket lagervolumen på 100.000 m³ vand vil det betyde en konstant udveksling af grundvand på 35 m³/t. Ingen af de eksisterende pumpebore fra mergelen/kalken i de gennemgåede områder ser ud til at imødekomme en pumpebore på 35 m³/t. Dette er dog et tænkt scenarie med én boring og ikke fordelt på flere borerer.

Undersøgelsesboringen DGU nr. 146.2402 ved Syddansk Universitet er som nævnt et af de bedre nyere datasæt i området. Her er der pumpeboret med en ydelse på 15 m³/t i 24 timer med en noteret sænkning på 43 m. Et groft beregningsoverslag med Cooper Jacobs ligningen giver her, under forudsætning af en filterlængde på 30 m, kun en hydraulisk ledningsevne på 6*10⁻⁷ m/s, hvilket er en faktor 100 lavere end de optimale magasinsegenskaber baseret på de hollandske erfaringer. Generelt er informationerne om de øvrige udførte pumpebore ved boringsetablering meget begrænsede.

På baggrund af det tilgængelige grundlag vurderes potentialet for HT-ATES i de øvre geologiske lag i Odense SØ at være ringe. Der tages dog forbehold for, at nye boreringsdata kan ændre den nuværende vurdering, da hovedparten af borerer er gamle og typisk sparsomt beskrevet.

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
Som nævnt under (HT)-ATES er det en mulighed, at der i Odense SØ og midtby kun er udpeget begrænsede eller ingen drikkevandsinteresser. Nærmeste drikkevandsindvinding er Fraugde-Over Holluf Vandværk der indvinder i et øvre sandmagasin (10-15 m tykt) beliggende ca. 500 m syd for Tietgenbyen, men som kiler ud mod nord.
Ved Tietgenbyen beskriver boreringsdata en lagpakke domineret af moræneler (sandet og stenet) uden vandførende sandlag, hvilket er en fordel ift. at undgå varmetab væk fra et BTES lager på grund af grundvandsstrømning. Også ved OUH er der beskrevet en 50-60

m tyk morænelerspakke med kun få lokale sand/gruslag. Der er dog behov for konkrete data på morænelerets varmeledningsevne til vurdering af jordens lagerpotentiale.
Begrænsninger/udfordringer
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 m ³ jord/bjergart for at være rentabelt (Sibbitt & McClenahan 2015).
Et højtstående grundvandsspejl med grundvandsstrømning i sandlinser internt i moræneleret kan være problematisk ift. varmetab.
Ved Ejby Mølle er forholdene ikke egnet til et BTES anlæg grundet udbredt tilstedeværelse af smeltevandssand og grundvandsstrømning i ådalen.
Usikkerheder
På baggrund af de nuværende data kendes varmeledningsevnen ikke for den lokale moræneler og mergel/kalk, men bedre viden kan opnås ved termisk responstest i en prøveboring.
Det skal afklares om der findes sand/grus-forekomster med markant grundvandsstrømning internt i moræneleret, som ikke er beskrevet i boringsbeskrivelserne, evt. på grund af begrænset prøvebeskrivelsesfrekvens. Bedre viden kan muligvis opnås med geofysisk kortlægning, hvis området/terrænet tillader det i forhold til eksisterende infrastruktur.
Et BTES anlæg er mere pladskrævende end f.eks. ATES, idet der er behov for et areal til placering af borehulsklyngen samt udlæg af isolerende materiale som låg til forhindring af varmetab til overfladen.

Sammenfattende indikerer boringsdata, at geologien potentielt er anvendelig til etablering af et BTES, dog er grundvandstrømning en reel udfordring, da hovedparten af lagserien vurderes at være vandmættet, og at dele af lagene må forventes at have en vis vandføring. Ift. BTES er det også vigtigt at overveje den opladningsperiode som er nødvendig når et nyt lager skal tages i brug, og 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 prøveboring ved Tietgenbyen der gennemborer den kvartære lagserie, Kerteminde-mergelen, og den øverste del af Danienkalken. Boringen skal udføres med mulig filtersætning og prøvepumpning i Kerteminde-mergel/Danienkalk, samt gennemførelse af termisk responstest (evt. Enhanced Thermal Response Test, ETRT, så der opnås data for hver meter af lagsøjlen). ETRT vil kunne identificere horisonter med stor vandføring, og dermed energitransport væk fra et borehulslager.

- Det kan undersøges, hvorvidt nogle af de eksisterende relevante borer i området (og som ikke er sløjfet) kan tilgås til udførelse af pumpetests og undersøgelse af vandkemi. Vandcenter Syd kan forhøres angående monitoringsboringer.
- Evt. indsamling af geofysik:
 - tTEM metoden giver en god fladedækkende opløsning af geologien i de øverste 50-70 m, såfremt der er åbne arealer uden elektrisk ledende infrastruktur.
 - Seismik med fokus på grænsefladen mellem moræneler og mergel/kalken, og evt. sprækker.

5. Referencer

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.

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.

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, Naturstyrelsen, ISBN nr. 978-87-7175-564-0, 2016.

Miljøstyrelsen, 2015: Redegørelse for indvindingsoplande udenfor OSD, Esbjerg og Hjeriting, Afgiftsfinansieret grundvandskortlægning, Naturstyrelsen, 2015.

Orbicon, 2018: Hydrostratigrafisk model for Fyn, Odense Kommune, Grundvandskortlægning, Miljøstyrelsen, april 2018.

Sandersen, P., Kristensen, M. & Mielby, S. 2015: Udvikling af en 3D geologisk/hydrogeologisk model som basis for det urbane vandkredsløb. Delrapport 4 - 3D geologisk/hydrostratigrafisk modellering i Odense. Udarbejdet i VTU-projektet. De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland, GEUS, København.

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

Sandersen, P. & Kallesøe, A.J. 2017: Odense Vest – 3D geologisk/hydrostratigrafisk modellering, GEUS rapport 2017/25.

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.

Watertech, 2004: Geologisk model og konceptuel geologisk model – kortlægning af geologi og saltvand. Delrapport 2. August 2004. Udført for Fyns Amt.