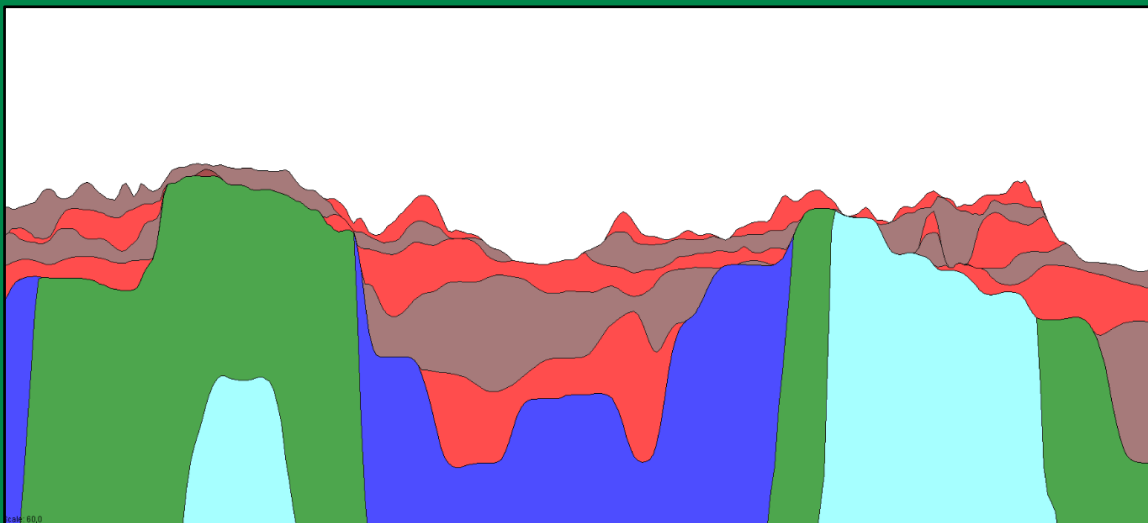




Geologisk kortlægning af Salling og dele af Mors



Grundvand og drikke-
vand nr. 4

November 2021

Udgiver: Miljøstyrelsen

Redaktion: Niels Korsholm Klem

ISBN: 978-87-7038-364-6

Miljøstyrelsen offentliggør rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, som er finansieret af Miljøstyrelsen. Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter. Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

Må citeres med kildeangivelse

Indhold

1.	Indledning	5
2.	Datagrundlag	8
2.1	Geofysiske data	8
2.2	Boringsdata	9
2.2.1	Borehulslogs	9
2.2.2	Boringskvalitet	9
2.2.3	Boringsdybde	10
2.3	Vandkemiske data, vandtyper	12
2.4	Hydrologiske data	13
2.4.1	Pejledata	13
2.5	Digitalt kortmateriale	15
2.6	Geologisk forståelsesmodel	15
2.6.1	Kvartære lag	16
2.6.2	Prækvartære lag	17
3.	Hydrostratigrafisk model	19
3.1	Model opsætning	19
3.2	Interpolation og gridadjustment	19
3.3	Tolkningsprocedure	20
3.4	Logbog	21
3.5	Kvalitetssikring	21
4.	Hydrostratigrafiske enheder	22
4.1.1	Implementering af forståelsesmodellen i kortlægningen	22
4.1.2	Kvartære enheder	30
4.1.3	Miocæne enheder	31
4.1.4	Paleogent ler	31
4.1.5	Kalk	31
5.	Model usikkerhed	32
	Litteraturliste	35
	Liste over bilag	36
	Bilag 1	37
	Bilag 2	38
	Bilag 3	39
	Bilag 4	40
	Bilag 5	41

Bilag 6	42
Bilag 7	43
Bilag 8	44
Bilag 9	45
Bilag 10	46
Bilag 11	47
Bilag 12	48
Bilag 13	49
Bilag 14	50
Bilag 15	51
Bilag 16	52
Bilag 17	53

1. Indledning

Ifølge vandforsyningsloven /1/ skal Miljøstyrelsen kortlægge og afgrænse nye indvindingsoplande til almene vandforsyninger, når der er sket væsentlige ændringer i indvindingstilladelsen eller indvindingsmønsteret for vandværket.

Skive Kommune har indmeldt 23 vandværker (Tabel 1). Indmeldingerne er fra 2016 og frem til 2020 og omfatter ændrede indvindingstilladelser og manglende BNBO beregninger. Kommunen ønskede endvidere at bruge ny viden i form af en ny opdateret hydrostratigrafisk og hydrologisk model til genberegning af en række indvindingsoplande, som kommunen mente var beregnet på et usikkert grundlag.

TABEL 1. Indmeldte vandværker for Salling

Indmeldte vandværker	Dato indmelding	Problemstilling iflg. indmelding
Glyngøre vandværk	30-06-2016	Aktiv tilladelse til 2045. Tilladelse uændret siden 2015 på 160.000 m ³ /år. Det kunne ikke findes hvornår sidste IOL er beregnet.
Grønning vandværk Lyby Strand	30-06-2016	Da en ny geomodel og hydromodel igangsættes samt nyt datagrundlag, beregnes nyt opland
Junget vandværk	30-06-2016	Da en ny geomodel og hydromodel igangsættes samt nyt datagrundlag, beregnes nyt opland med Salling modellen
Breum vandværk	30-06-2016	Da en ny geomodel og hydromodel igangsættes samt nyt datagrundlag, beregnes nyt opland beregnes med Salling modellen
Hem Vandværk A.M.B.A.	30-06-2016	Da en ny geomodel og hydromodel igangsættes samt nyt datagrundlag, beregnes nyt opland beregnes med Salling modellen
Ramsing vandværk	30-06-2017	Da en ny geomodel og hydromodel igangsættes samt nyt datagrundlag, beregnes nyt opland beregnes med Salling modellen.
Vejby Vandværk I/S	09-03-2020	Da geomodel og hydromodel udarbejdet og der er indsamlet nye baggrundsdata, medtages dette vandværk.
Hjerk Harre Vandværk	30-06-2016	Da tilladelse er ændret siden sidste IOL beregning, skal et nyt opland beregnes med Sallingmodellen
Regional Vandværk i Lem	31-01-2019	Ny tilladelse og nye borer. Der er desuden ingen BNBO
Selde vandværk	31-01-2019	Der er ingen BNBO til boringen
Thorum-Hinnerup Vandværk, Sølvvej 50a	30-06-2017	Opland til boringen ikke beregnet før, så ændret til reg. 1 fra reg. 2.
Thorum-Hinnerup Vandværk, Sølvvej 43a	30-06-2017	Opland til boringen ikke beregnet før, så ændret til reg. 1 fra reg. 2.
Rødding Vandværk I/S	30-06-2016	Nyt opland beregnes med ny Salling model
Roslev vandværk	30-06-2016	IOL beregnet sidst i 2006. VV har fået ny tilladelse.

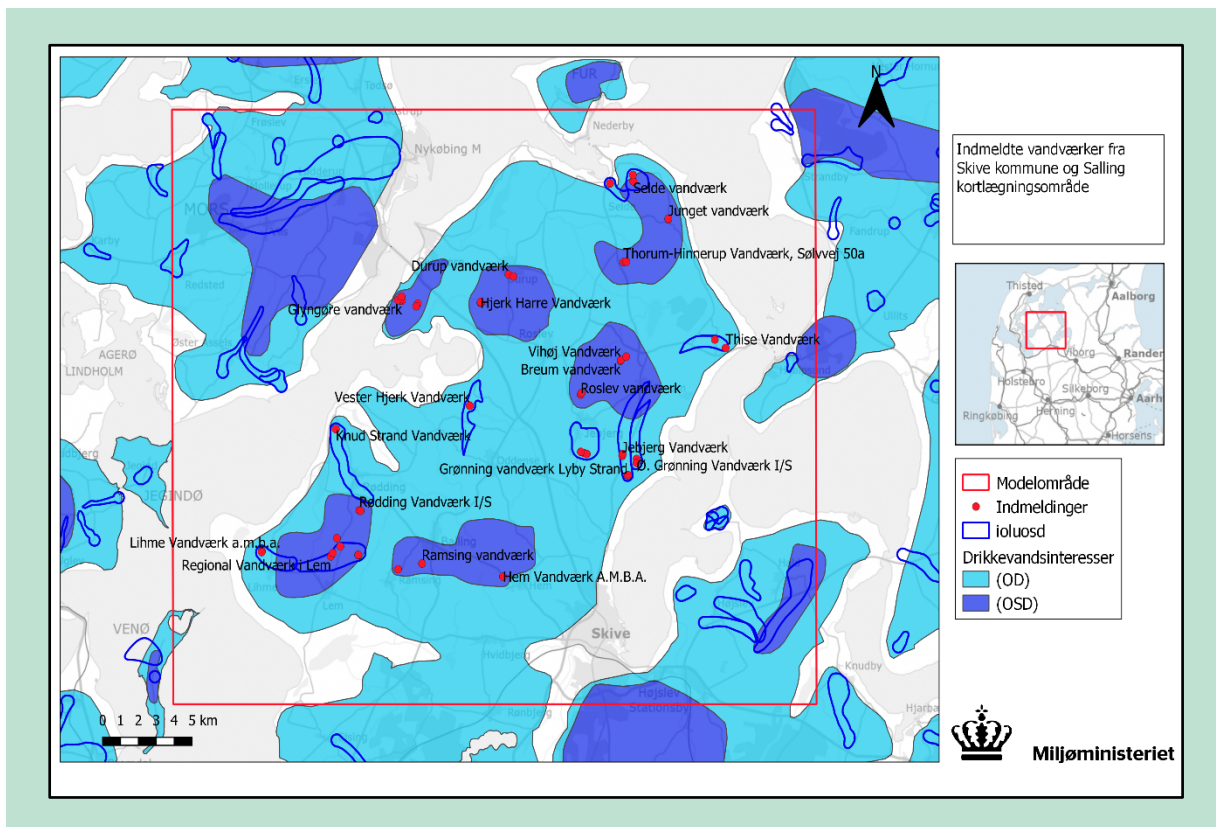
Vihøj Vandværk	30-06-2017	Nyt opland beregnes med Salling modellen, KS af kommune opland ej nok
Ø. Grønning Vandværk I/S	30-06-2016	Nyt opland beregnes med Salling modellen, sårbarhedsvurdering
Jebjerg Vandværk	09-03-2020	år geo- og hydromodel opdateres og nyt baggrundsdata indsamles beregnes IOL for dette anlæg.
Lihme Vandværk a.m.b.a.	09-03-2020	Aktiv tilladelse til 2026. Tilladelse uændret siden 1997 på 50.000 m ³ /år. IOL sidst beregnet i 2006.
Knud Strand Vandværk	09-03-2020	Når geomodel og hydromodel opdateres og der indsamles ny baggrundsdata, medtages dette anlæg.
Durup vandværk	30-06-2016	Tilladelse ændret efter IOL beregnet. Nyt opland beregnes med Salling modellen
Thise Vandværk	30-06-2016	Udpeget m. bek. 365 25.04.2016. Beregnes alligevel når vi beregner øvrige indvindingsoplande med Sallingmodellen.
Vester Hjerk Vandværk	30-06-2017	Undersøg forskel mellem vores og kommunens oplande, ingen ændring i tilladelse

Indmeldingerne er spredt over det meste af Salling som det fremgår af Figur 1.

Data grundlaget for Salling er beskrevet i Opstart rapporten /2/. Rapporten indeholder en vurdering af kvaliteten af de tidligere geologiske og hydrologiske modeller samt af de geofysiske, kemiske og hydrologiske data. Anbefalingerne i Opstart rapporten er omfattende og inkluderer forslag til en betydelig data indsamling i form af geofysiske data, udførelse af synkron pejle runde samt boringsregistrering. Det blev desuden anbefalet at opstille en ny hydrostratigrafisk model for hele Salling.

På baggrund af anbefalingerne besluttede Miljøstyrelsen at påbegynde en synkron pejlerunde og boringsregistrering i 2020. Desuden blev geofysiske tTEM data indsamlet i december 2020/januar 2021 i et område ved Knud Strand vandværk, hvor datagrundlaget for kortlægningen blev vurderet at være meget svagt /2/. Miljøstyrelsen besluttede yderligere at opstille en ny hydrostratigrafisk model for Salling området med udgangspunkt i FOHM (Fælles Offentlig Hydrologisk Model) kortlægningen for hele Jylland /3/. Desuden blev det besluttet at revurdere nitratsårbarhed, nitratfølsomme indvindingsområder (NFI), og indsatsområder (IO) på baggrund af den nye kortlægning. Som en del af projektet vil BNBO blive genberegnet for alle vandværker i overensstemmelse med den nye BNBO beregningsprocedure, der blev udgivet i juni 2020 /4/.

Den nye geologiske model beskrevet i denne rapport danner grundlag for en opdateret hydrologisk grundvandsmodel for Salling.



FIGUR 1. Indmeldte vandværker for Salling, indvindingsoplande og hydrostratigrafisk modelområde.

Generelt følger modelprocessen den opdaterede Geovejledning 2018/1 /5/ under hensyntagen til de ressourcer og tid til der var til rådighed for Salling kortlægningen. Modelarbejdet er kvalitetssikret flere gange eksternt undervejs i kortlægningsprocessen og forslag til forbedringer er medtaget i tolkningsarbejdet.

I nærværende rapport dokumenterer Kapitel 2 datagrundlaget for den hydrostratigrafiske kortlægning. Modelopsætningen og arbejdsprocessen i forbindelse med kortlægningen er beskrevet i kapitel 3 og resultatet af kortlægningen samt udbredelsen af de kortlagte geologiske enheder er beskrevet i Kapitel 4. Endelig er modellens usikkerhed beskrevet i Kapitel 5.

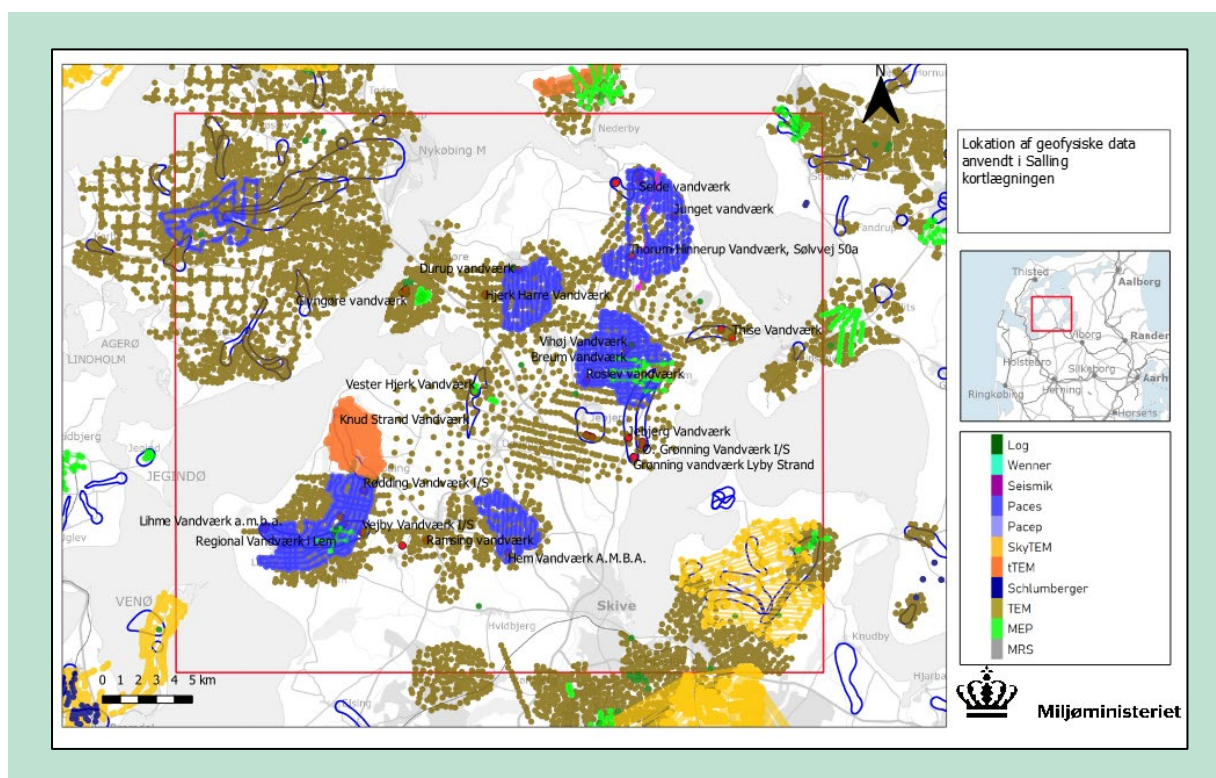
2. Datagrundlag

I kortlægningen er der anvendt geofysiske data fra GERDA databasen samt borings-, vandkemisk og hydrologiske data fra Jupiter databasen.

2.1 Geofysiske data

De geofysiske data er hentet fra Gerda databasen den 21 januar 2020. Detaljer og information vedrørende de forskellige geofysiske undersøgelser på Salling og deres stamdata er beskrevet i detaljer i /2/.

En stor del af Salling er kortlagt med geofysiske data primært PACES og TEM data. På det nordvestlige Salling samt nord for Rødding, omkring Skive og syd for Ramsing er der ikke udført geofysisk kortlægning. Den geofysiske database tematiseret efter metode er vist i Figur 2.



FIGUR 2. Geofysiske data i Salling modelområde.

TEM metoden er effektiv til kortlægning af den dybere geologi specielt dybden til 'den gode leder'. Med metoden opnår man en høj indtrængningsdybde (ca. 150 m), men de terrænnære lag opløses dårligt. På Salling har TEM data tidligere været anvendt til at kortlæggede de begravede dale /2/. Generelt er datadækningen med TEM data god ved de indmeldte vandværker, dog findes der nogle områder uden TEM data. SkyTEM data supplerer TEM data i den sydøstlige del af kortlægningsområdet.

Indenfor indvindingsoplandene til Thise, Vester Hjerk, Hjerk Harre, Glyngøre, Ramsing, Knud Strand, Grønning, Ø. Grønning og Jebjerg vandværker er der primært kun udført TEM kortlægning. De nævnte områder mangler således data

til at belyse den overfladenære geologi, og indsamling af tTEM blev anbefalet i Opstart rapporten. På baggrund af anbefalingerne indsamlede Miljøstyrelsen i december 2020/januar 2021 nye tTEM data i et område ved Knud Strand vandværk (Figur 2), hvor datadækningen blev vurderet til at være særligt svag. tTEM data blev indsamlet i december 2020/januar 2021 af NIRAS. Data blev efterfølgende processeret og kvalitetssikret af Miljøstyrelsen /6/ og derefter indlæst i Geoscene3D projektet den 5 maj 2021. De nye tTEM data har gjort det muligt at kortlægge de overfladenære magasiner og beskyttende dæklag nær Knud Strand vandværk.

PACES kortlægger modstandsvariationerne ned til ca. 20 – 30 m dybde, og metoden er derfor velegnet til vurdering af nitratsårbarhed. De geologiske lag er kortlagt med størst sikkerhed i de områder hvor både PACES og TEM/SkyTEM data er udført, da der derved opnås en bedre opløsning af både de overfladenære og dybere geologiske lag.

Der er indhentet riffelseismiske data langs 2 linjer over Batum salt strukturen i den nordøstlige del af Salling /7/. Felt arbejdet blev udført og de seismiske data blev tolket af COWI i juni 2002. Formålet med undersøgelsen var at kortlægge toppen af kalken langs flankerne af Batum salt diapiren. De seismiske data langs de 2 linjer er anvendt i kortlægningen af toppen af Zechstein salt samt kalk overfladen på flankerne af diapiren som beskrevet i Kapitel 3.

MEP-kortlægningerne findes nord for byen Lem i indvindingsoplandet for Vejby vandværk, ved Breum vandværk, Vester Hjerk vandværk, Glyngøre vandværk samt en kort profil linje ved byen Hald i den sydøstlige del af kortlægningsområdet. Der findes ikke MEP data på Mors (Figur 2). Det vurderes samlet, at den overfladenære geologi er mangelfuldt belyst ved MEP data, og kortlægningen må i områder uden MEP data hovedsagelig baseres på data fra borer. Dette gælder specielt det centrale Salling, hvor der kun findes TEM data.

Overordnet vurderes det, at det geofysiske data grundlag er tilstrækkeligt til at belyse den dybere geologi på Salling, men ufuldkomment til kortlægning af den overfladenære geologi i områder uden MEP eller tTEM data. Vurdering af Nitrat sårbarhed i disse områder er derfor behæftet med nogen usikkerhed, da kortlægningen i disse områder primært må baseres på boringsdata.

2.2 Boringsdata

Boringerne, der er anvendt i tolkningen er baseret på et udtræk fra GEUS' Jupiter database fra 29 januar 2020. Den 25 september 2020 blev endnu et Jupiter udtræk lavet for Skive kommune som et lokalt Firebird databaseformat. Dette udtræk blev anvendt til at vurdere kvaliteten af boringerne baseret på MST's metode. Det totale antal borer inden for model området er 4,410 (Jupiter udtræk 25 september 2020).

2.2.1 Borehulslogs

Der blev fundet gamma logs fra 11 borer i Gerda databasen, og disse er integreret i tolkningen af laggrænser.

2.2.2 Boringskvalitet

Alle borer blev kvalitetsvurderet på en skala fra 0 til 6. Metoden indebærer vurdering af kvaliteten af boringens lokalisering samt datakvalitet (geologi). Overførsel af kvalitetsbedømmelsen til Firebird databasen skete ved hjælp af et lokalt (MST) udviklet SQL program.

Herefter blev Firebird databasen med kvalitetsvurdering importeret til GeoScene3D, hvilket gjorde det muligt herefter at sortere borerne på baggrund af kvalitetsvurderingen. Fordelingen af antal borer med de forskellige boringskvaliteter er vist i Tabel 2.

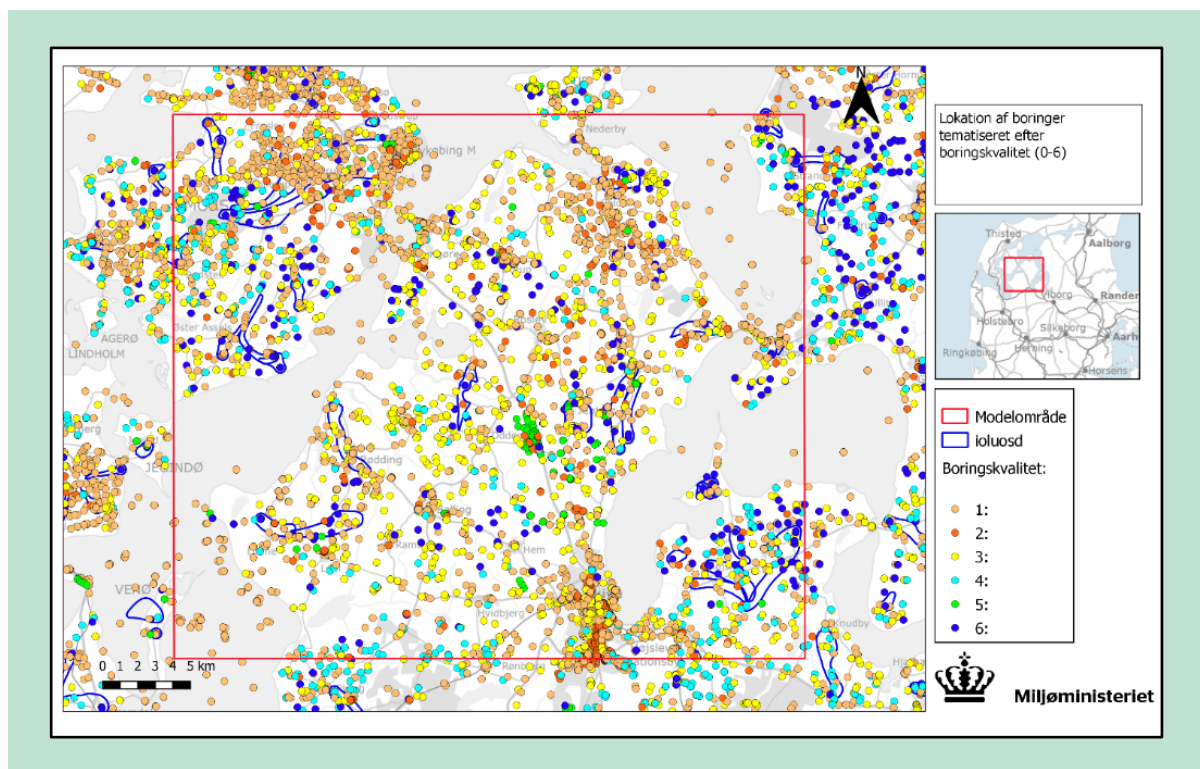
TABEL 2. Fordeling af boringer efter boringskvalitet.

Boringskvalitet	0	1	2	3	4	5	6
Antal boringer	4,410	51	617	748	577	175	220
%	64,9	0,8	9,1	11,0	8,5	2,6	3,2

Tabel 2. Fordeling af boringer efter boringskvalitet.

64,9% af boringerne har kvalitetsvurdering 0 og data fra disse boringer blev vurderet til at være for usikre til at blive anvendt i tolkningsarbejdet.

Fordelingen af boringer med en kvalitetsvurdering større end eller lig med 1 er vist i Figur 3. Der ses generelt en rigtig god datadækning med boringer af god og brugbar kvalitet nogenlunde jævnt fordelt over hele Salling og på Mors.



FIGUR 3. Fordeling af boringer efter boringskvalitet baseret på Miljøstyrelsens klassifikation fra 2020. Boringer med kvalitet 0 er ikke medtaget.

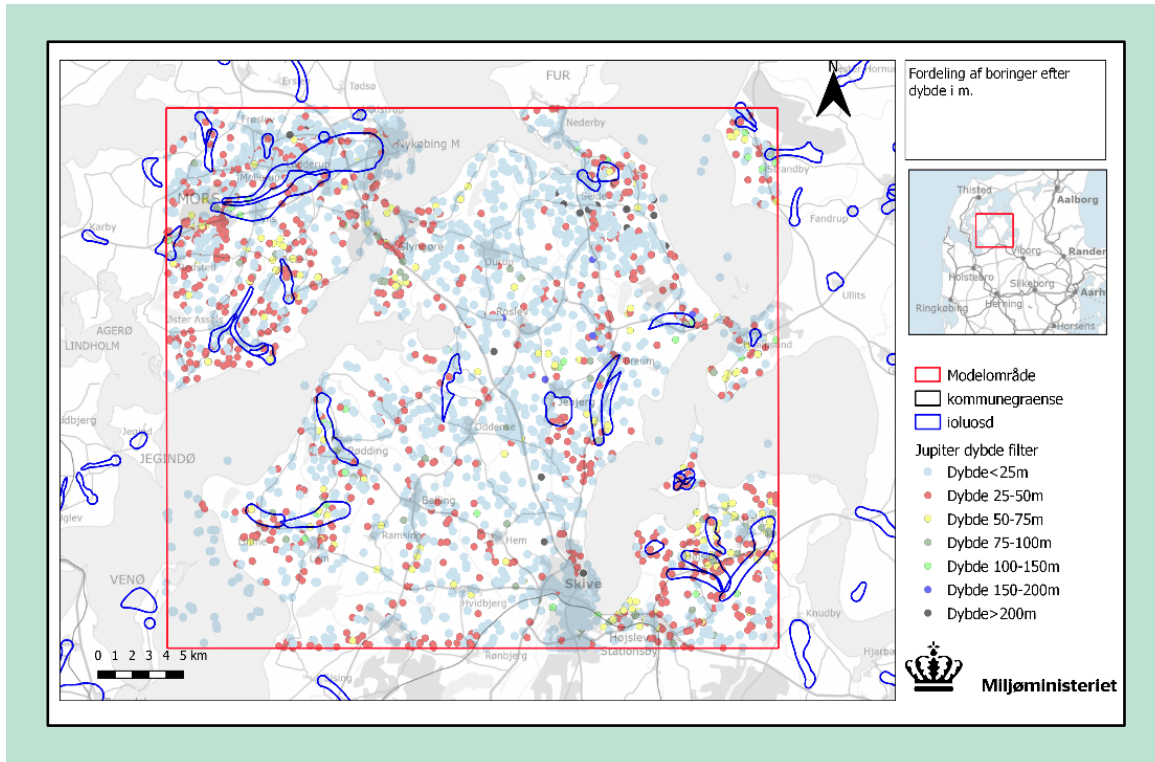
2.2.3 Boringsdybde

Den statistiske fordeling af boringer efter dybde er vist i Tabel 3 og Figur 4.

74,9% af boringerne er mindre end 25 m dybe, og disse boringer giver derfor kun information om de terrænnære geologiske forhold. Information fra boringer om de dybere geologiske forhold under 50 m dybde kommer fra 373 boringer (5,8%), og fordelingen af disse er vist i Figur 5 sammen med de geofysiske data og indmeldinger.

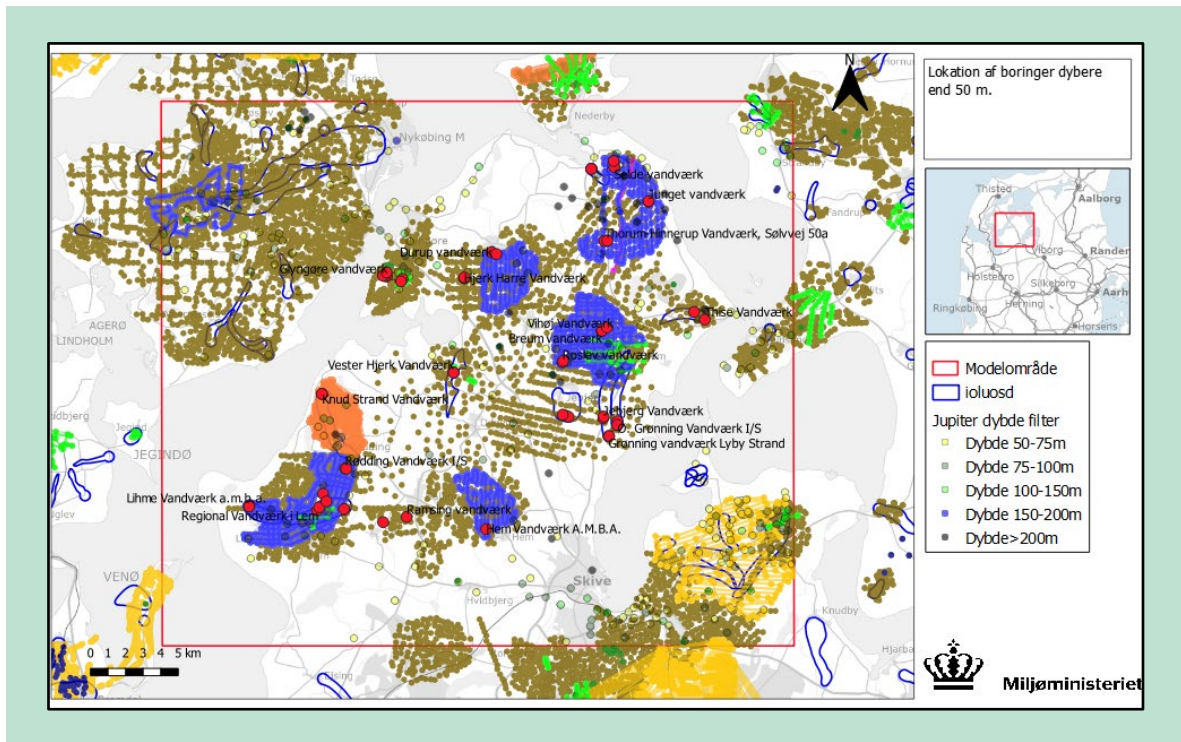
TABEL 3. Fordeling af boringer efter dybde.

Boreddybde (m)	< 25 m	25-50 m	50-75 m	75-100 m	100-150 m	150-200 m	>= 200 m
Antal boringer	4824	1018	210	85	35	13	30
%	74,9	15,8	3,3	1,3	0,5	0,2	0,5



FIGUR 4. Fordeling af boringer efter dybde.

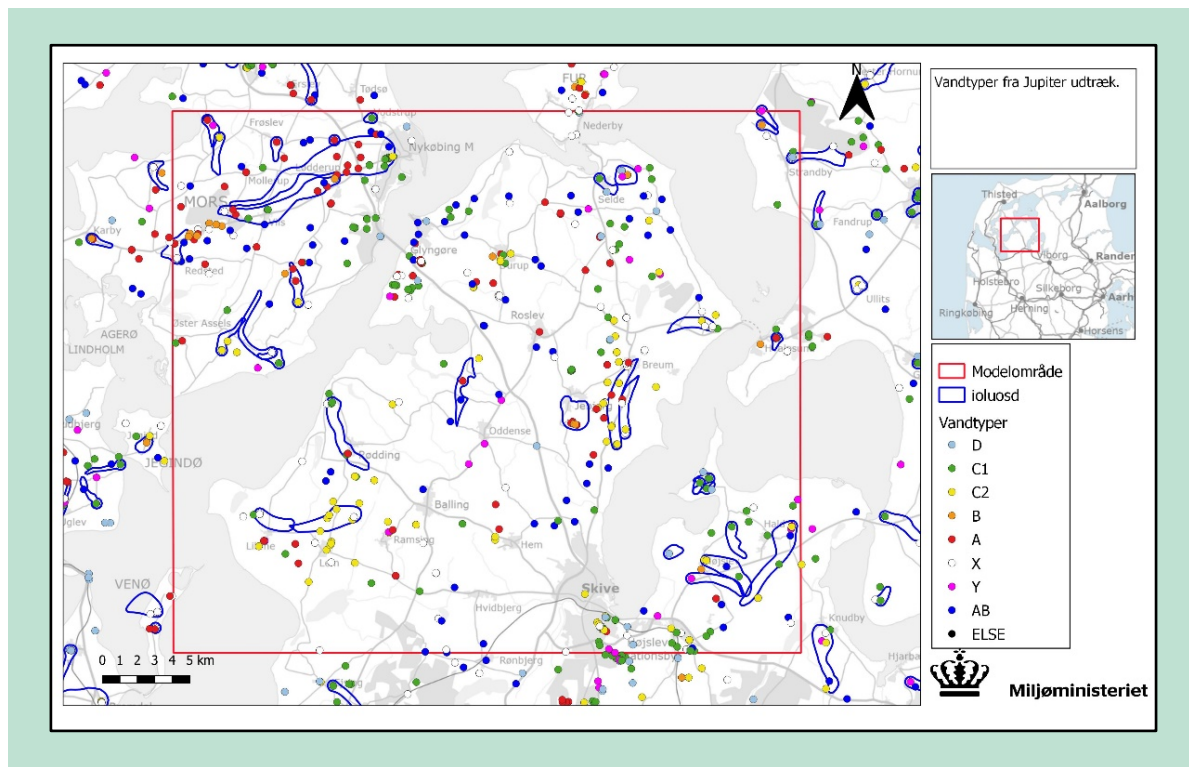
Det fremgår af Figur 5, at der er områder, hvor der er få eller ingen boringer, der er boret dybere end 50 m, og i flere af disse områder er der heller ikke geofysiske data. Dette betyder, at kortlægningen af den dybere geologi i disse områder er noget usikker. Det er dog vigtigt at bemærke, at i områder nær de indmeldte kildepladser findes der tilstrækkeligt med geofysiske data til at kortlægge de begravede dale og dermed de dybere magasiner med god sikkerhed.



FIGUR 5. Fordeling af boringer dybere end 50 m og lokation af geofysiske data. Indmeldinger er vist med rødt symbol. Signatur for geofysik er den samme som Figur 2.

2.3 Vandkemiske data, vandtyper

De eksisterende vandkemiske data er beskrevet i detaljer i /2/. Vandtyper er udtrukket fra Jupiter den 5 januar 2021 og data er vist i Figur 6.



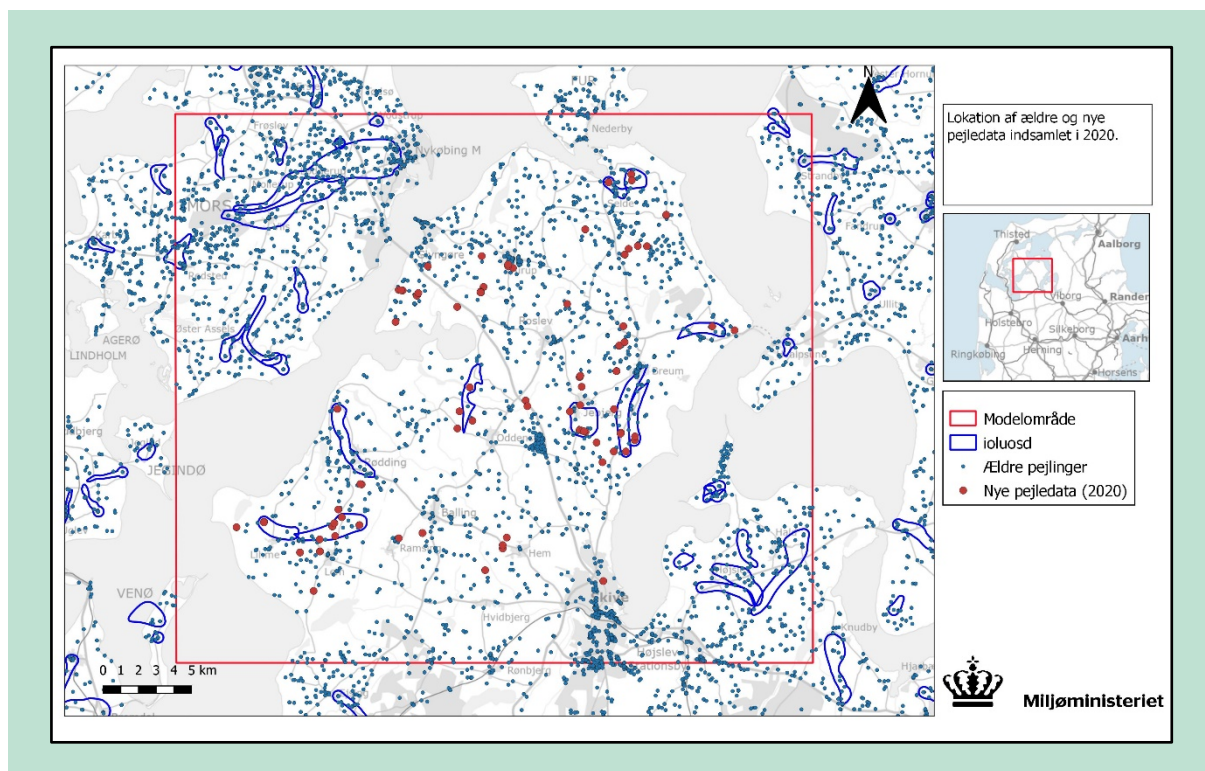
FIGUR 6. Fordeling af vandtyper fra filtersatte borer på Salling.

Vandtyperne er vigtig information i forbindelse med kortlægningsprocessen. I tolkningsprocessen (afsnit 3.3) blev vandtyperne vist i de tolkede profiler sammen med alle geologiske data. Vandtype data kan ikke bruges direkte til at fastsætte geologiske laggrænser, men til gengæld give indikationer på f.eks. udbredelse og tykkelse af dækkende lerlag, tilstedeværelse af huller i dæklaget, magasinsammenhænge og grundvandsgennemstrømning.

2.4 Hydrologiske data

2.4.1 Pejledata

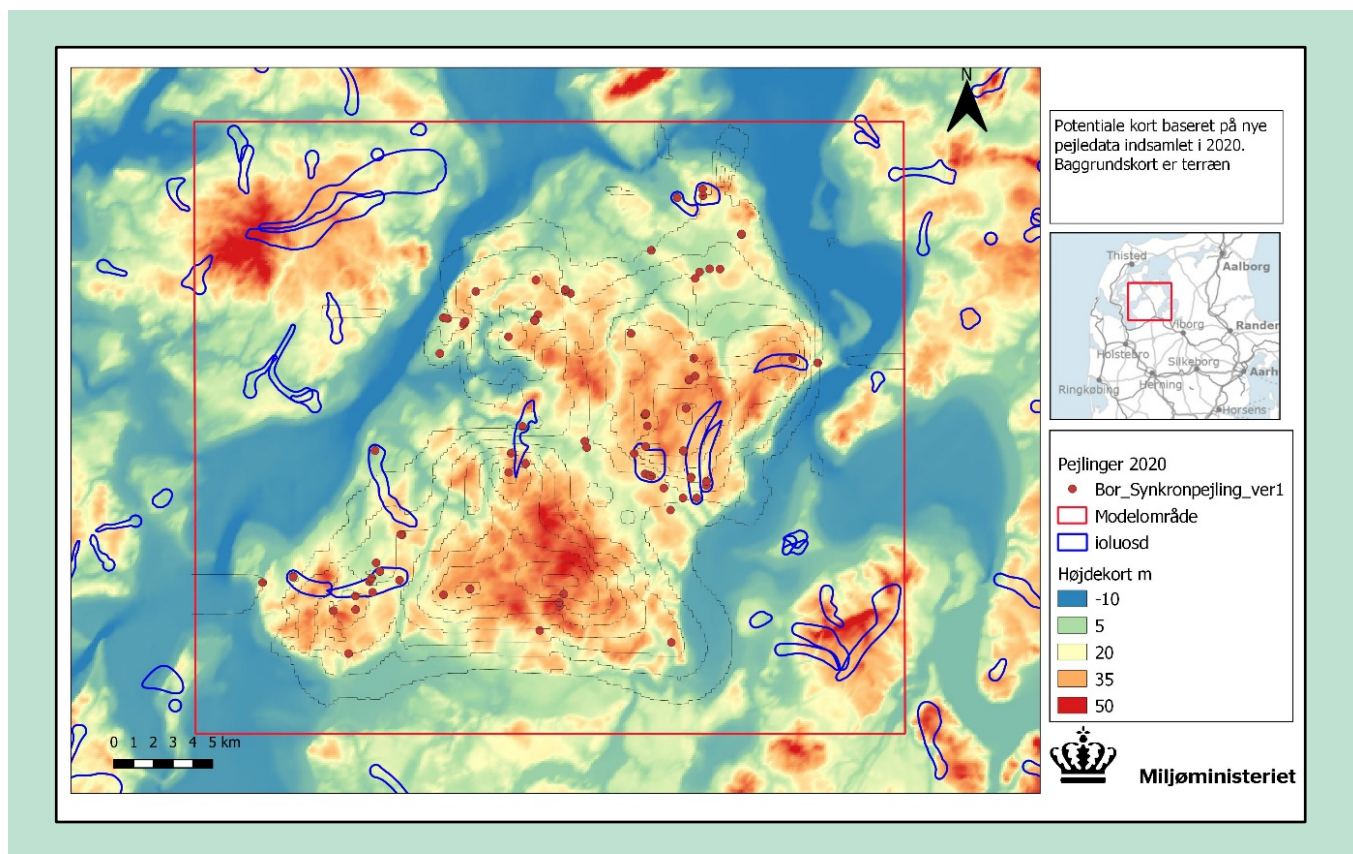
I Opstart rapporten blev de eksisterende pejledata beskrevet /2/. I rapporten er beskrevet at der er i alt 693 borer med pejledata med overvejende pejlinger i 0 – 10 m under terræn. Mange af disse borer (54%) er af dårlig kvalitet på grund af manglende prøvebeskrivelser og/eller usikker information om boringens placering. En betydelig del af pejlingerne er derfor ubrugelige i tolkningsprocessen, og det blev anbefalet at indhente nye pejledata og udføre en ny synkronpejlerunde. Miljøstyrelsen indsamlede nye pejledata i efteråret 2020 i en synkronpejlerunde og samtidig blev der foretaget boringsregistrering. Placeringen af de nye pejledata er vist i Figur 7 sammen med de ældre pejledata.



FIGUR 7. Lokation af ældre og nye pejledata indsamlet i efteråret 2020.

De nye pejledata dækker det meste af Salling og er indsamlet med fokus på at indsamle data nær indvindingsoplade, hvor pejlegrundlaget blev vurderet at være mangelfuldt.

De hydrologiske data giver vigtig information om, hvordan grundvandet strømmer i jordlagene og kan opfattes som støttedata, der kan hjælpe til en vurdering af om der er hydraulisk kontakt mellem de magasiner som er pejlet. Dette er undersøgt ved at interpolere de nye pejledata og undersøge konturerne for anomalier, der kan forklares ved manglende hydraulisk kontakt. Figur 8 viser et potentiale kort baseret på de nye pejledata, med højdekort som baggrund. Der er ikke fundet anomalier i pejlingerne og potentiale konturerne afspejler fint højdekortet inden for området med pejledata, hvilket indikerer, at de pejlede magasiner ser ud til at være i hydraulisk kommunikation. Uden for området med data er det ikke muligt at konkludere, hvorvidt der er hydraulisk kontakt mellem de pejlede magasiner.



FIGUR 8. Potentiale kort baseret på nye pejledata indsamlet i efteråret 2020. Baggrundskortet er højdekort i m.

2.5 Digitalt kortmateriale

Der er i forbindelse med tolkningsarbejdet anvendt en række offentlig tilgængelige kort fra GEUS kort database. Disse kort vil blive nærmere beskrevet senere i rapporten i de afsnit, hvor de er anvendt i tolkningen.

Liste af anvendte kort:

1. Jordartskort GEUS 1:200.000.
2. Undergrundskort, GEUS, Varv 1992.
3. Kort over begravede dale fra: www.begravededale.dk.
4. Per Smed geomorfologisk landskabskort over Danmark, GEUS.
5. Højdekort over Danmark, 100 m grid, GEUS.
6. Top Zechstein kort, GEUS.
7. Bund Skrivekridt, GEUS.
8. Prækvarter flade kort, GEUS.

2.6 Geologisk forståelsesmodel

Forinden opstillingen af den hydrostratigrafiske model blev der foretaget en gennemgang af den eksisterende litteratur vedrørende Sallings geologi, de strukturelle forhold i området specielt forløbet af de begravede dale samt beskrivelser af geologien i området. Betydelig information er til rådighed fra tidligere rapporter og litteraturen /8,9,10/ suppleret af de digitale kort fra GEUS.

Omfattende beskrivelser af Salling landskabet findes i /9/, der også indeholder en detaljeret geologisk forståelsesmodel for Salling med fokus på området ved Durup-Balling. Disse ældre beskrivelser og analyser for Salling er værdifuld læsning, men de vil ikke blive gentaget i denne rapport.

Efter at de nævnte tidligere geologiske beskrivelser og tolkninger blev udarbejdet for Salling er der udgivet en ny rapport i forbindelse med FOHM kortlægningen /3/. I denne rapport beskrives hvorledes de geologiske lag for Jylland bør tolkes i en geologisk model for at sikre en ensartet regional tolkning af lagene. Fokus i dette afsnit er derfor på, hvorledes disse nye metoder er blevet implementeret i Salling kortlægningen.

Der blev tidligt i projektet konstrueret en geologisk principskitse (Bilag 4), der overordnet viser den tolkede lagserie i et skematisk øst-vest profil gennem den sydlige del af Salling med udgangspunkt i FOHM maksimalstratigrafien /3/. Principskitsen viser således hvilke af FOHM lagene, der er tolket til stede i Salling samt deres forventede udbredelse og sammenhæng.

FOHM maksimalstratigrafien for Jyllandsmodellen består af 45 lag (Tabel 4), der er opdelt i følgende overordnede grupper:

1. Et øvre lag - postglacialt organisk lag
2. En kvartær lagserie bestående af 12 sand/lerlag
3. En miocæn lagserie bestående af 28 sand/lerlag
4. Palæogent ler
5. Danien kalk
6. Skrivekridt
7. En nedre flade med Top Zechstein salt

2.6.1 Kvartære lag

Terrænnære lag

Kategorien "terrænnære lag" repræsenterer terrænnære aflejringer, der har en begrænset udbredelse. Det er sedimenter afsat i forbindelse med det Ungbaltiske isfremstød som har størst udbredelse i Østjylland eller mindre lokale lag med smeltevandsaflejringer afsat på det overfladenære bundmorænelandskab, som i dag ses på Saale bakkeøerne. I Salling modellen er lagene 300_Kvartær_ler og 400_Kvartær_sand tolket som terrænnære lag.

Plateau lag

Kategorien "plateau lag" repræsenterer de regionale lag, som har en større udbredelse. Lagene findes udbredt på både plateauerne og i den øvre del af de begravede dalstrukturer. I Salling modellen omfatter plateau lagene: 1100_Kvartær_ler, 1200_Kvartær_sand, 1300_Kvartær_ler og 1400_Kvartær_sand. De 2 sidstnævnte lag er i modellen også tolket til stede i de øvre del af begravede dale.

Begravede dalfyldslag

Den sidste kategori "begravede dalfyldslag" omfatter de dybereliggende dalfyldslag. Disse lag benyttes til at tolke dalfyldslagene i de begravede dale. I Salling modellen er 1500_Kvartær_ler og 2100_Kvartær_sand tolket som dalfyldslag.

Prækvartæroverfladen

Prækvartæroverfladen er i maksimalstratigrafien defineret som bund af lag 2400_Kvartær_ler og anvendes i lagjusteringen til justering af både de kvartære og prækvartære enheder.

2.6.2 Prækvarter lag

Miocæne sand lag

I Midtjylland er den Miocæne lagserie underopdelt i 14 lerlag og 14 sandlag (2 Odderup sandlag, 6 Bastrup sandlag, og 6 Billund sandlag /6/ Der er nogen usikkerhed omkring hvilket eller hvilke Miocæne sand, der er til stede i Salling. Miocænt sand tilhørende Billund Formationen er beskrevet umiddelbart syd for Salling /10/. På baggrund af beskrivelserne vurderes det, at det Miocæne sand højst sandsynligt tilhører Billund Formationen.

Ud fra beskrivelserne i /10/ vurderes det, at det Miocæne sand bedst repræsenteres i FOHM laget 7800_Billund_BDS0, da dette lag er til stede umiddelbart syd for Salling kortlægningsområdet /10/. Laget overlejres af ler tilhørende Vejle Fjord Formationen /10/ og i kortlægningen er lerlaget er tolket som laget 7300_Vejle_Fjord_VFL3. Der er dog nogen usikkerhed omkring rigtigheden af denne tolkning, da der ikke findes præcise dateringer af prøver i området.

Miocæne lag er eroderet væk i den nordlige del af Salling /10/.

Paleogen ler

Det fede paleogene ler findes i Midt og Sydjylland, men ses også i den sydlige del af Nordjylland /10/. Laget er tolket til stede i Salling, hvor det er kortlagt som FOHM laget 8000_Paleogen_ler. Kortlægningen af laget er baseret på lithologiske beskrivelser i borer (glimmerler, gl) og understøttes af enkelte gamma logs med meget høje udslag på loggen. Laget overlejrer kalken i Salling området.

I flere af de begravede dale er de øverste dele af det Paleogene ler eroderet bort som illustreret i den geologiske principskitse (Bilag 4).

Danien kalk

Under det paleogene ler træffes kalkaflejringer, der øverst består af Danien bryozokalk underlejret af skrivekridt. Kalken er eroderet væk over salt diapirer for eksempel Batum salt diapiren, hvor opadgående bevægelser i Zechstein saltet har skubbet kalken opad. Laget er repræsenteret af laget 8500_Danien_Kalk i den hydrostratigrafiske model.

Skrivekridt

Skrivekridtet er beskrevet i de dybe borer i Salling området udenfor salt diapirerne. Det ligger højt over salt diapirerne og er inkluderet i den hydrostratigrafiske model som laget 9000_Skrivekridt. Salt bevægelser ved Batum salt diapiren har nogle steder skubbet kalken så langt op, at Danien kalken og de tertiære ler lag er eroderet bort ved erosion af istidens gletchere. I disse områder danner toppen af skrivekridtet Prækvarteroverfladen. Skrivekridtet går i dagen ved Batum kalkværket. Salt diapiren ved Batum og betydningen af saltbevægelser for lagene over diapiren er beskrevet i /12/. Der indvindes grundvand fra Skrivekridtet ved Batum (Junget vandværk).

Stensalt

Stensalt er inkluderet som lag 9500_Stensalt. Det er vigtigt at inkludere stensalten i kortlægningen i Salling, da laget findes overfladenært ved Batum diapiren og justerer alle andre lag op i grid justeringen undtagen terræn.

Ekstra lag

FOHM maksimalstratigrafien indeholder ikke et lag, der repræsenterer lagserien mellem Top stensalt og bunden af skrivekridtet. Dette lag er i den stratigrafiske model repræsenteret af et ekstra lag, der således findes mellem lagene 9500_stensalt og 9000_skrivekridt. Laget er defineret for at sikre at hele lagserien over stensalt er repræsenteret i modellen.

TABEL 4. Sammenstilling af FOHM maksimalstratigrafien med den tolkede stratigrafi i Salling. Mellem lagene 9500_Stensalt_bund og 9000_Skrivekridt_bund er indført et ekstra lag i modellen, der ikke fremgår af Tabel 4.

FOHM/maksimalstratigrafi		Salling hydrostratigrafiske model lag (MST 2021)
	100_postglacial_tørv	
	200_Kvartær_sand_bund	
	300_Kvartær_ler_bund	300_Kvartær_ler_bund
	400_Kvartær_sand_bund	400_Kvartær_sand_bund
	1100_Kvartær_ler_bund	1100_Kvartær_ler_bund
	1200_Kvartær_sand_bund	1200_Kvartær_sand_bund
	1300_Kvartær_ler_bund	1300_Kvartær_ler_bund
	1400_Kvartær_sand_bund	1400_Kvartær_sand_bund
	1500_Kvartær_ler_bund	1500_Kvartær_ler_bund
	2100_Kvartær_sand_bund	2100_Kvartær_sand_bund
	2200_Kvartær_ler_bund	
	2300_Kvartær_sand_bund	
	2400_Kvartær_ler_bund	
Kvartær		
	Odderup_Arnum (5100-5500)	
	Bastrup/Klintinghoved (5600-6700)	
	6800_Billund_BDS6_BDS9_bund	
	6900_Vejle_Fjord_VFL6_Bund	
	7000_Billund_BDS4_BDS5_bund	
	7100_Vejle_Fjord_VFL4_bund	
	7200_Billund_BDS3_bund	
	7300_Vejle_Fjord_VFL3_bund	7300_Vejle_Fjord_VFL3_bund
	7400_Billund_BDS2_bund	
	7500_Vejle_Fjord_VFL2_bund	
	7600_Billund_BDS1_bund	
	7700_Vejle_Fjord_VFL1_bund	
	7800_Billund_BDS0_bund	7800_Billund_BDS0_bund
Prækvartær	8000_Paleogen_ler_bund	8000_Paleogen_ler_bund
	8500_Danian_kalk_bund	8500_Danian_kalk_bund
Øvre Kridt	9000_Skrivekridt_bund	9000_Skrivekridt_bund
Perm	9500_Stensalt_bund	9500_Stensalt_top

3. Hydrostratigrafisk model

3.1 Model opsætning

Den hydrostratigrafiske model blev afsluttet og gemt i GeoScene3D 64 bit versionen 12.0.0.667. Softwaren blev løbende opdateret i tolkningsperioden.

Der er anvendt koordinatsystemet EUREF89 (UTM-zone 32N) og kote systemet DVR90.

Scene Extent er defineret af hjørnekoordinaterne $X_{min}=478000$, $X_{max}=514000$, $Y_{min}=6266000$ og $Y_{max}=6297000$. Scene Extent omslutter alle indmeldte vandværker og definerer model området. Det benyttes til afskæring af alle data indlæst i GeoScene3D fra Jupiter og Gerda databaserne.

3.2 Interpolation og gridadjustment

Tolkningspunkterne er interpoleret i GeoScene3D ved brugen af interpolations-algoritmen Inverse Distance Weighting med en Exponent på 4, en Smooth Factor på 20 for de Kvartære lag, 200 for de Prækvartære lag og en Quadrant Count på 3. Cellestørrelsen er 100x100 m. I interpolationen af de enkelte lagflader er der anvendt forskellige søgeradier. Til de kvartære lagflader er der anvendt en lille søgeradius (2500 m), da datatætheden for disse lag er høj. Modsat er søgeradius for de prækvartære lagflader dobbelt så stor (5000 m), idet datatætheden her er noget lavere.

Efter interpolationen er der foretaget en justering af lagfladerne ved brugen af værktøjet 'Grid Adjustment and Evaluation' i GeoScene3D. I justeringsrutinen er terrænoverfladen fastlåst (dvs. fladen vil forblive uændret), men det er også valgt at fastlåse prækvartæroverfladen, da denne flade er velbestemt. Prækvartæroverfladen bliver kun justeret i forhold til terrænoverfladen i situationer, hvor de to flader krydser hinanden. Her vil prækvartæroverfladen blive tilpasset terrænoverfladen, så prækvartæroverfladen følger terrænoverfladen. Dette vil kun være aktuelt i situationer, hvor de prækvartære aflejringer ses ved terræn, hvilket er sjældent. Top stensalt fladen justerer alle prækvartærfalderne op i overensstemmelse med den geologiske dannelse af salt diapirene ved bevægelse opad.

I gridjusteringen justeres alle ikke låste flader først "oppe fra og ned" i forhold til de låste flader og efterfølgende "nedefra og op". Herved opnås, at alle de interpolerede flader – i første omgang – "skubbes" nedad – og dermed under terræn og under de lagflader, som ligger stratigrafisk højere. Da prækvartæroverfladen imidlertid er fastlåst, kan det forekomme, at en eller flere af de kvartære flader (pga. interpolation eller justering) "skubbes" ned under prækvartæroverfladen, hvilket vil medføre krydsende laggrænser. For at undgå dette udfører justeringsrutinen derfor en afsluttende "nedefra og op"-justering. Denne har i praksis kun virkning på den kvartære del af modellagene, hvor justeringen sørger for, at alle de kvartære lagflader skubbes op over (eller sammenfaldende med) prækvartæroverfladen. Samlet set sikrer justeringsrutinen således, at der i modellen ikke forekommer krydsende laggrænser, og at alle kvartære laggrænser i modellen indplaceres imellem terræn og prækvartæroverfladen.

Der er ikke i justeringsrutinen indarbejdet en minimumstykkelser af lagene.

3.3 Tolkingsprocedure

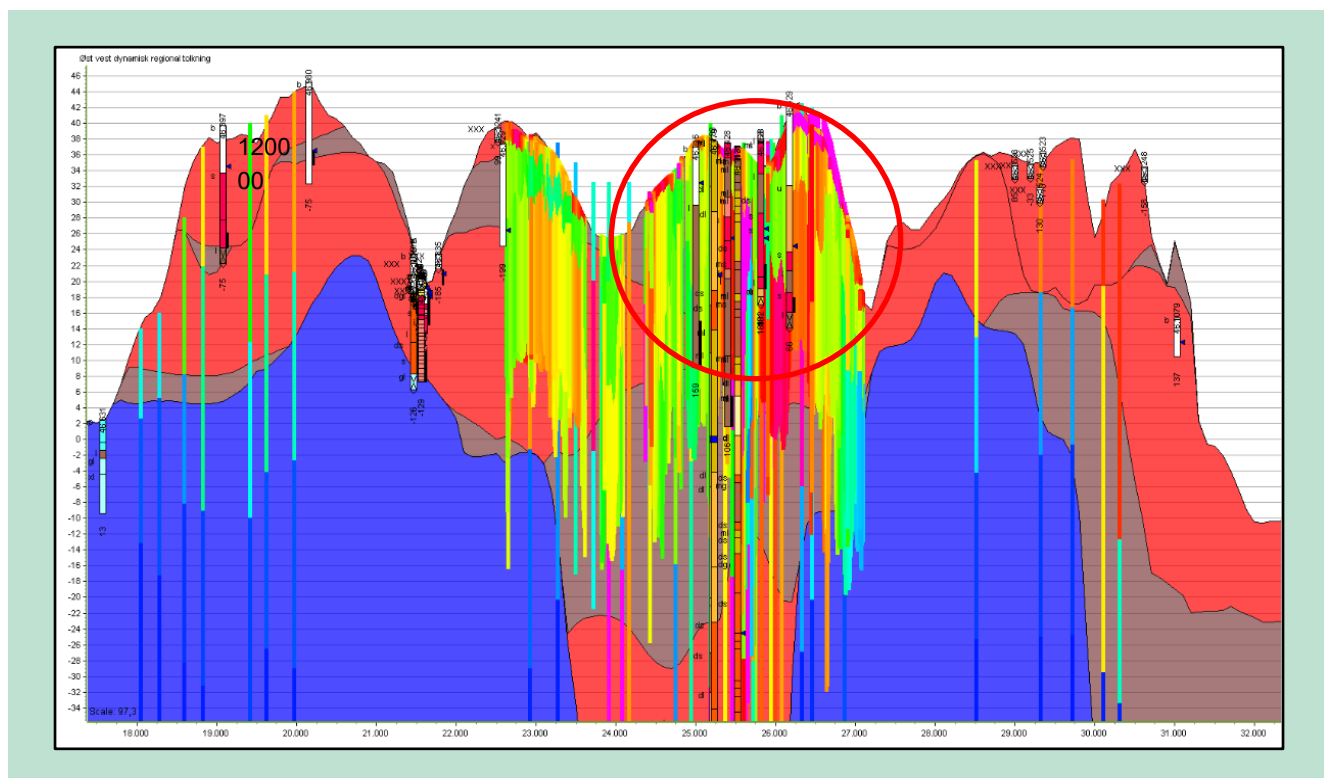
Tolkingsproceduren følger de retningslinjer, der er sat op under FOHM-projektet 3/. Dette betyder bl.a., at nultolkingspunkter er droppet i forhold til modelleringen af de begravede dalstrukturer. Nultolkingspunkter er tolkningspunkter (XYZ-punkter) for et modellag, der er sat langs bunden af det overliggende lag, så modellaget dermed får en nultykkelse.

Ved tolkningen af kvartæret er tolkningspunkterne til dalfyldslagene primært sat inden for de begravede dalstrukturer, med færre støttepunkter sat uden for dal strukturerne for at sikre gennemgående lagflader.

Prækvartærfladen blev tolket først, da denne vigtige flade er velbestemt på baggrund af data fra borer og geofysiske data. Dernæst blev prækvartær lagene tolket og til sidst de kvartære lag. Prækvartær tolkningen blev kvalitetssikret og godkendt inden tolkningen af kvartæret blev påbegyndt.

I tolkningen af lagene er der anvendt dynamiske profiler med øst – vest og nord – syd orientering, med en afstand på 400 m mellem hvert tolkningsprofil. Der blev desuden lavet profiler ved alle de indmeldte vandværker for at sikre bedst mulig kvalitet i tolkningen i områder hvor der skal beregnes indvindingsoplande og BNBO. Alle de tolkede profiler har en bufferzone på 100 m.

I nogle profiler ses kompleks geologi med borer, der viser forskellig geologi i samme dybde i Kvartæret. Denne variation er ikke opløst af PACES data, og det er vanskeligt at repræsentere den komplekse geologi i en lagmodel (Figur 9). Tolkning af lagene beror derfor i nogen udstrækning på den geologiske forståelsesmodel (Bilag 4), hvor der lægges vægt på lagenes forventede regionale udbredelse i overensstemmelse med forståelsesmodellen. Det betyder i praksis, at geologiske variationer på en horisontal skala omkring 100 – 200 m i nogle tilfælde ikke bliver repræsenteret i lag modellen.



FIGUR 9. Eksempel på kompleks geologi i Kvartæret, der er vanskelig at tolke, da borerne inden for cirklen sidder tæt og viser forskellig geologi i samme dybde. I profilet ses PACES data og TEM sonderinger. Tolkningen er i disse tilfælde delvis baseret på lagenes forventede regionale udbredelse ifølge den geologiske forståelsesmodel (Bilag 4).

3.4 Logbog

Der er udfærdiget en digital log bog i Excel (Logbog.xlsx), der dokumenterer overvejelser, vigtige beslutninger, kommentarer ved kvalitetssikringen mv.

Log bogen er organiseret som vist nedenfor:

1. Model opsætning. (Overblik over grundlæggende data, filer, modeltype mv).
2. Stratigrafi. (Oversigt over anvendt stratigrafi, inkl. FOHM maksimalstratigrafi).
3. Profil beskrivelser (beskrivelse af den geologiske tolkning af stationære nøgle profiler i GeoScene3D).
4. Vigtige beslutninger (Liste med vigtige overordnede beslutninger i forbindelse med tolkningen af både prækvartæret og kvartæret).
5. Dokumentation af interpolationsparametre og gridjusteringsrutine.
6. Dokumentation af kommentarer i forbindelse med kvalitetssikringen af forskellige faser af kortlægningsarbejdet.

3.5 Kvalitetssikring

Kvalitetssikring af modellen er løbende foretaget af Thomas Breum (GEO). Der er i den forbindelse afholdt en række møder, hvor kommentarer og rettelser til modellen er blevet diskuteret. Der er afholdt følgende virtuelle møder:

1. Onsdag 3 juni 2020. Kvalitetssikring og diskussion af tolkningen af prækvartæret.
2. Onsdag 25 november 2020. Diskussion af rettelser til tolkningen af prækvartæret samt første kvalitetssikring af tolkningen af kvartæret.
3. Fredag 7 maj 2021. Diskussion af tolkning af tTEM data ved Knud Strand vandværk.
4. Tirsdag 1 juni 2021. Kvalitetssikring af tolkning af tTEM data ved Knud Strand vandværk.

Herudover består kvalitetssikringen af diverse mail korrespondancer med uddybende kommentarer til kortlægningen samt udveksling af data mv.

4. Hydrostratigrafiske enheder

I dette afsnit gives der en kortfattet beskrivelse af de hydrostratigrafiske enheder med fokus på lagenes udbredelse. De kortlagte hydrostratigrafiske enheder er vist i en række profiler fra GeoScene3D, hvor placeringen af profilet er valgt således, at de samlet set giver et godt indtryk af lagenes udbredelse i Salling og på Mors.

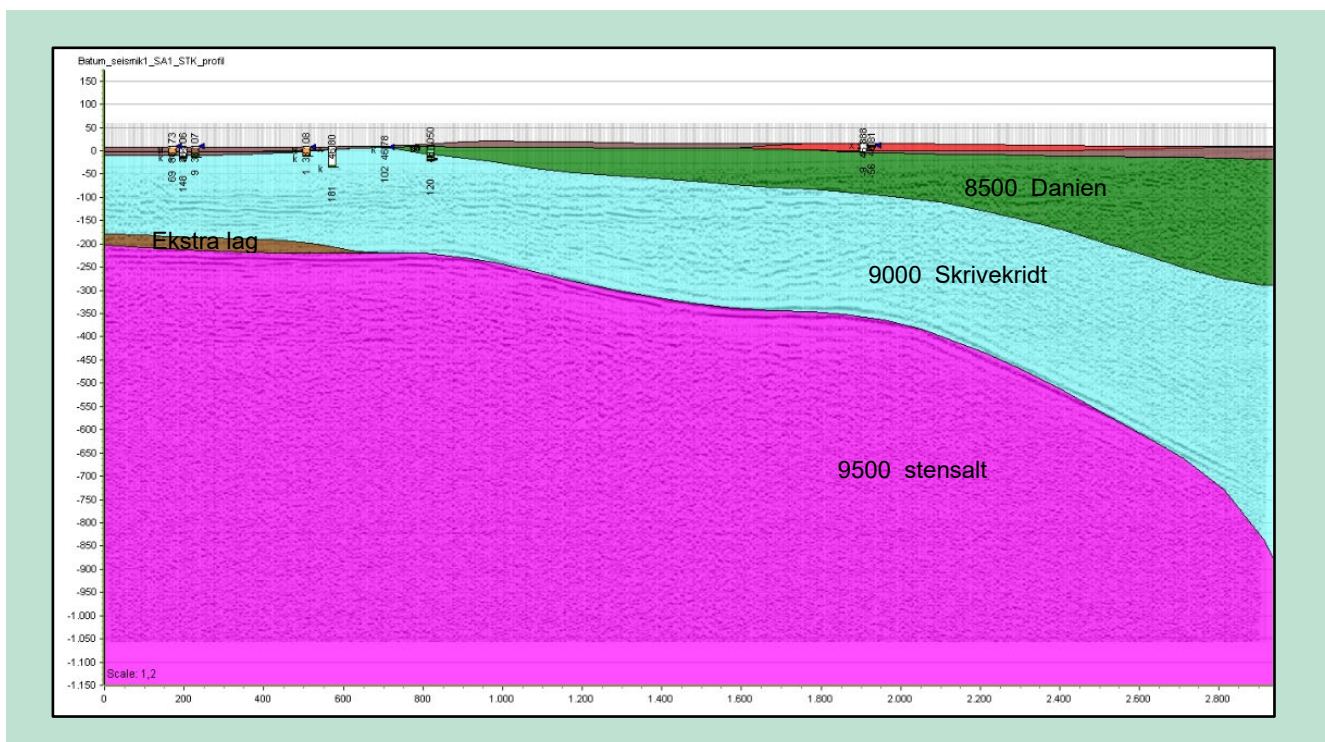
4.1.1 Implementering af forståelsesmodellen i kortlægningen

Kortlægning af Stensalt

Til kortlægningen af toppen af 9500_Stensalt er anvendt en regional GEUS flade, der er tilpasset boringer ved salt diapirerne. Ved Batum salt diapiren er der indhentet riffel seismik langs 2 profiler /7/. Formålet var at kortlægge flankerne af salt diapiren med større nøjagtighed. Det seismiske profil blev først indlæst i GeoScene3D som et billede, og der blev derefter konstrueret et profil i GeoScene3D med samme koordinater som det seismiske profil. Det er dog vanskeligt at tilpasse den vertikale skala i profilet, således at de seismiske data er vist nogenlunde korrekt i dybden. Efter en del iterationer blev profilet tilpasset i dybde svarende til en seismisk hastighed på ca 2000 m/s. Dette gav den bedst mulige tilpasning til Top Stensalt i boringen DGU 38.142 (Figur 11).

De seismiske data blev integreret i tolkningen ved at placere tolkningspunkter ved dybden for den seismiske reflektor i profilet og efterfølgende opdatere GEUS hjælpefladen for Top Stensalt med disse tolkningspunkter.

Tolkningen af profilerne er vist i Figur 10 og 11 nedenfor.



FIGUR 10. Seismisk profil 1 ved Batum. Profilet viser en tydelig seismisk reflektor ved Top Stensalt. Bunden af Danian er vanskelig at tolke da reflektoren er utydelig. Placeringen af profilet fremgår af Figur 2.

Bunden af Danien blev yderligere tolket på de 2 seismiske profiler (Figur 10 & 11), men tolkningen er usikker da bunden af Danien ikke er en tydelig seismisk reflektor.

Tolkning af 8000 Paleogen ler

Denne flade er tolket ved at lægge den gennemsnitlige tykkelse af Danian kalken (273 m, Tabel 5) i borerne til fladen 8500_Danien_kalk_bund efter at denne flade var tilpasset alle borerne. Efterfølgende blev 8000_paleogen_ler_bund tilpasset boringsdata.

Tolkning af Miocænet

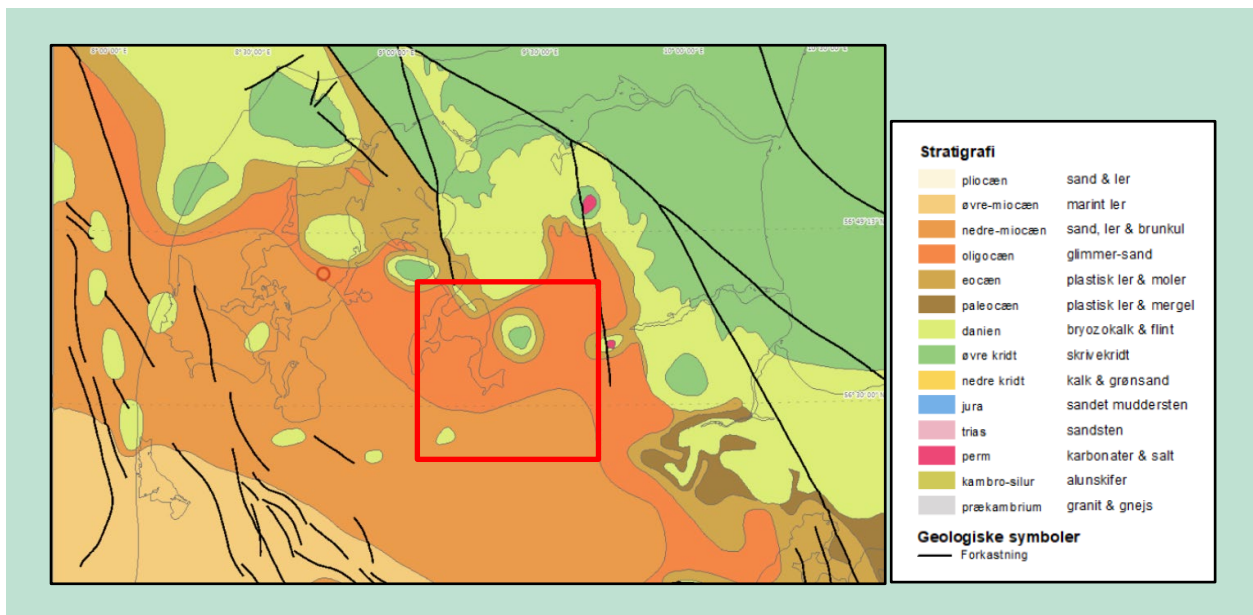
Det Miocæne sand tilhørende Billund Formationen blev aflejret som prograderende delta loper, hvor sediment via flodsystemer blev transporteret fra de norske og svenske bjerge mod sydvest /10/. Udfra beskrivelserne af sandet i /10/ vurderes det, at sandet har stor horisontal udbredelse. Dette understøttes af, at sandet er kan ses på seismiske data /10/. I Salling kortlægningsområdet er sandets horisontale udbredelse dog kompleks pga. omfattende erosion og omlejring af sandet og derfor er kortlægningen af udbredelsen af det Miocæne sand noget usikker.

I borerne beskrives sandet oftest som glimmersand (gs) på grund af indhold af lys glimmer, Muscovit. Glimmersandet er beskrevet i mange borer i kortlægningsområdet, men det vurderes, at sandet er omlejret i langt hovedparten af de borer, hvor glimmersand er beskrevet. Dette skyldes at glimmersandet typisk er beskrevet i samme dybde som kvarterære sand lag, der er kortlagt over prækvartærfladen. Erosionen og omlejringen af sandet skete formodentlig i forbindelse med dannelsen af de mange begravede dale i området, der er nedskåret i prækvartæret. Der er dog identificeret 4 borer, hvor sandet tolkes at være 'in situ' og derfor tolket dybere end prækvartærfladen som vist i Tabel 6. Den gennemsnitlige tykkelse af sandet i disse borer er 8,2 m.

TABEL 6. Borer med tolket 'in situ' Miocæn sand

Boring DGU	Top Kote (m)	Bund kote (m)	Tykkelse (m)
37.1025	4,4	-8,6	13,0
37.405A	-14,2	-18,5	4,3
45.259	-18	-27,5	9,5
55.1141	-56	-61,9	5,9
Gennemsnit			8,2

I tolkningsarbejdet blev der sat tolkningspunkter ved basis af sandet i de 4 borer. Da sandet er tolket til at have stor horisontal udbredelse blev der sat tolkningspunkter nær vandret. Sandet bliver hermed afskåret af de begravede dale i forbindelse med gridjusteringen. Yderligere information om udbredelsen af det Miocæne sand findes i Varvs undergrundskort (Figur 12), der er udgivet af GEUS. Kortet viser at lag af Miocæn alder mangler i den nordlige del af Salling kortlægningsområdet (Figur 12). Tolkningspunkter blev derfor placeret således, at Miocænet kiler ud mod nordøst i overensstemmelse med Varvs undergrundskort. Det blev i tolkningen tilstræbt at bevare en sand tykkelse på ca. 8 meter uden for borerne (Tabel 6).



FIGUR 12. Undergrundskort fra Varv, GEUS. Kortet viser at lag af Miocæn alder er eroderet væk mod nordøst pga. hævnning af det nordlige Jylland /10/. Rød firkant er omtrentlig placering af kortlægningsområdet.

Prækvartærfladen

Fladen 2400_kvartær_ler_bund definerer Prækvartærfladen. Fladen er generelt velbestemt, og kan oftest tolkes ved forekomst af glimmerler i borer eller ved forekomst af kalk, hvor kvartæret direkte overlejrer kalken, for eksempel, ved salt diapirene.

Prækvartærfladen er velbestemt ud fra geofysiske data, hvor fladen kan tolkes ved toppen af lag med modstande, der er lavere end ca. 10 - 12 ohm.

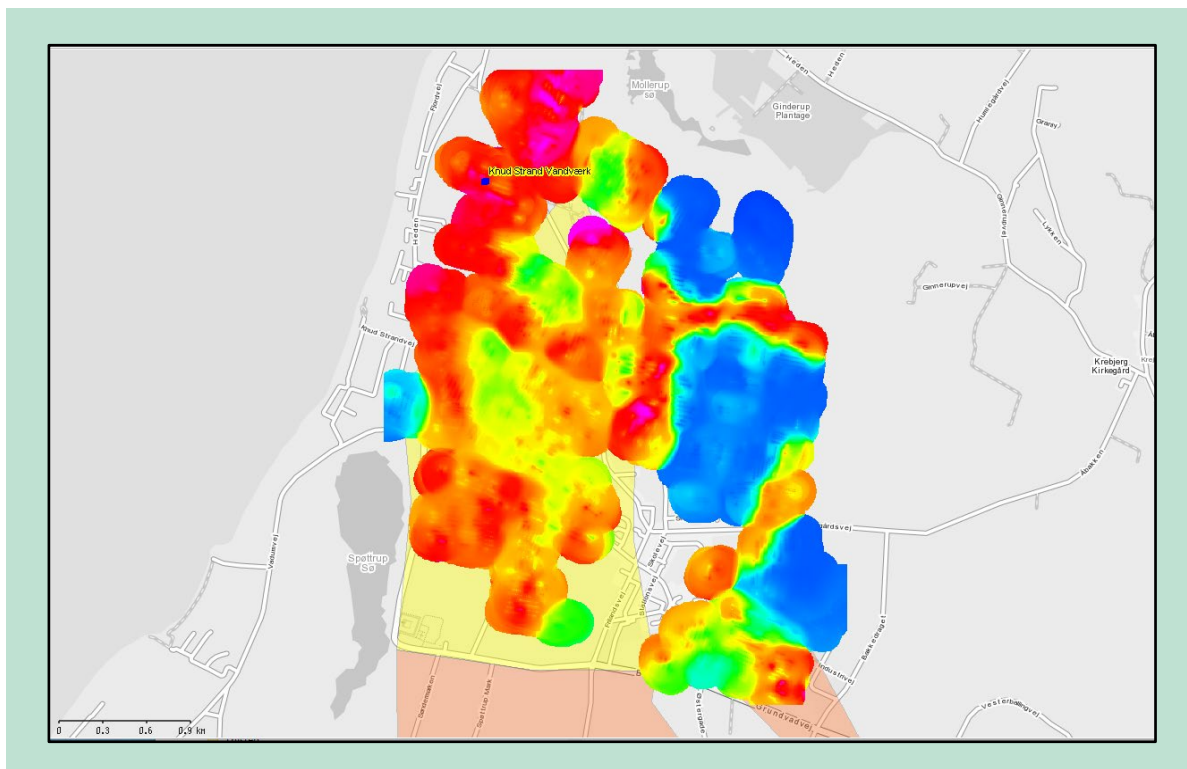
Tolkning af Kvartæret.

Tolkning af Kvartære sand og ler lag er forbundet med nogen usikkerhed pga. lagenes komplekse rumlige geometri. For at mindske usikkerheden ved tolkningen blev det tilstræbt at bruge hydrologiske data bestående af pejle- og grundvandskemiske data så meget som muligt i tolkningen.

Tolkning af begravede dale

Tolkningen af de begravede dale har anvendt GEUS tema for begravede dale i Danmark, der blev indlæst i Geo-Scene3D. De Kvartære lag blev tolket i et stationært profil langs de begravede dale og i et dynamisk profil vinkelret på dalene for at opløse dal siderne så godt som muligt.

GEUS kort over udbredelsen af de begravede dale i Salling området kan i hovedtræk bekræftes i nærværende kortlægning. Dog har de nye tTEM data indhentet ved Knud Strand vandværk muliggjort en betydeligt mere detaljeret kortlægning af dal systemet ved dette vandværk end det tidligere var muligt. Et lokalt 3D grid blev lavet ud fra tTEM data for at hjælpe tolkningen. Et middelmodstandskort gennem tTEM data i kote -20 m viser tydeligt forløbet af begravede dale i området (Figur 12) og viser samtidig et betydeligt mere komplekst forløb af dalene, end det var muligt at tolke tidligere.

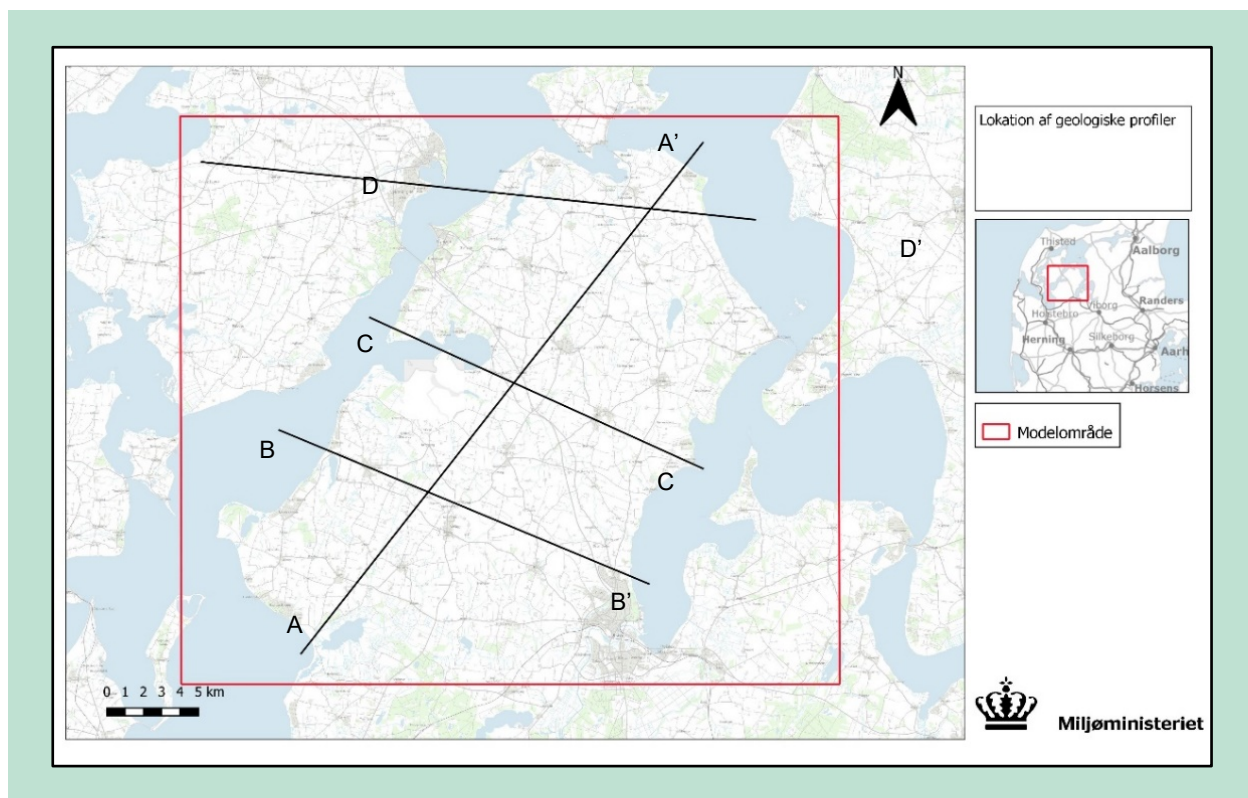


FIGUR 13. Kortet viser et middelmodstandskort gennem tTEM 3D grid ved Knud Strand vandværk i kote -20 m. Beliggenheden af Knud Strand vandværk er vist med blå symbol. Områder med lave modstande (blå farver) er plateau områder med højtliggende Paleogent ler. Begravede dale fyldt med sand (røde områder) viser en kompleks geometri med både nord-syd, øst-vest og nordøst-sydvest dal retninger.

Geologiske profiler

Resultatet af nærværende kortlægning er illustreret i 4 profiler (Figur 14 – 17), og placeringen af profilerne er vist i Figur 13. Placeringen af profilerne er valgt, så de giver et så godt som muligt indtryk af lagenes rumlige geometri i kortlægningsområdet.

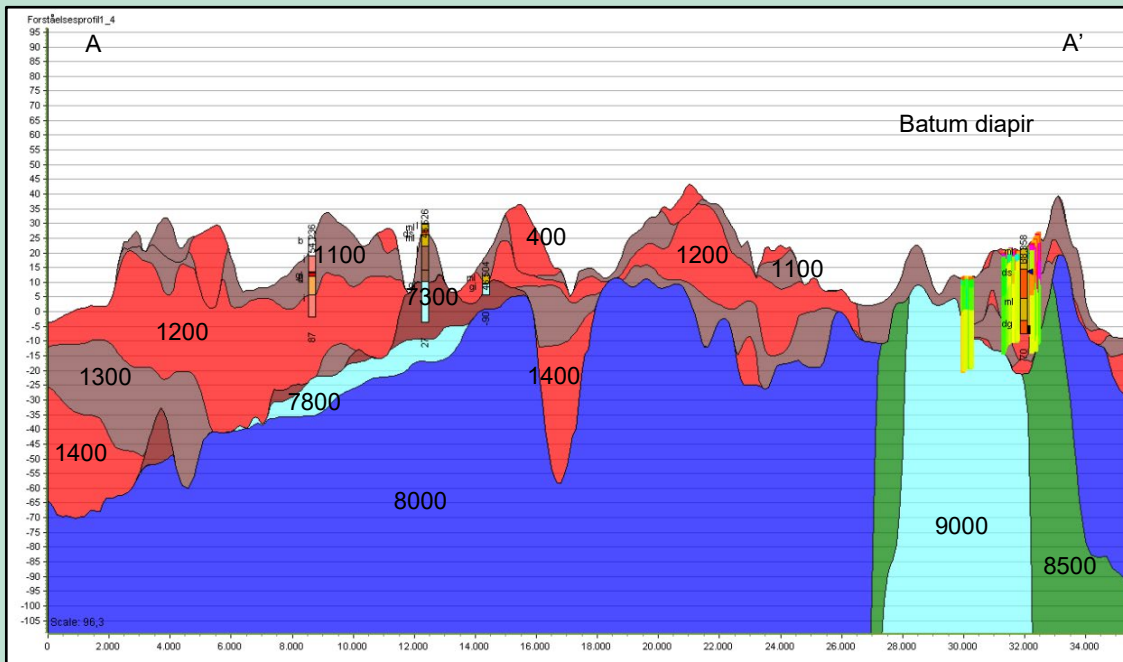
Lagernes udbredelse og tykkelse er vist i Bilag 5 – 17.



FIGUR 14. Figuren viser placeringen af profilerne, der er vist i Figur 14 – 17.

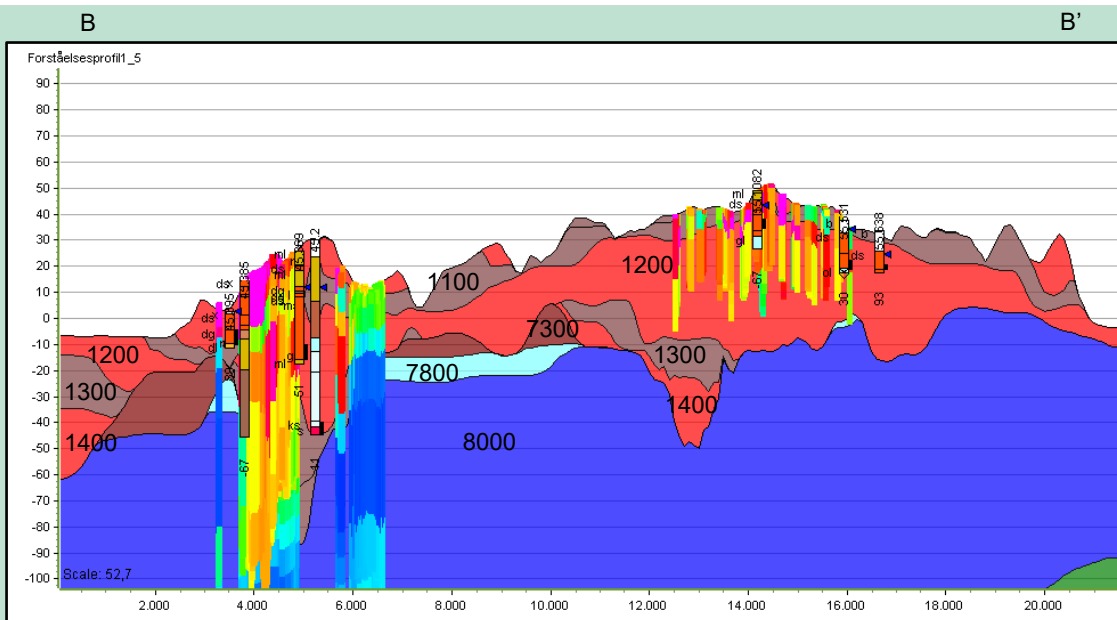
I profilet i Figur 15 er 400_sandet tolket at have lokal udbredelse som hedeslette baseret på bore data. 1100_leret udgør det terrænnære morænelandskab understøttet af Per Smed kortet (Bilag 3). Det ses i profilet at det Miocæne sand 7800_Billund_BDS0 og ler laget 7300_Vejle_Fjord_VFL3 kiler ud mod nordøst i overensstemmelse med den geologiske forståelsesmodel.

1200_Kvartær_sand har stor regional udbredelse, dog viser boringsdata, at sandet mangler nogle steder sandsynligvis pga. erosion. 400_Kvartær_sand er tolket som et senglacialt sand lag med lokal udbredelse. Profilet skærer flere begra-vede dale, hvor 1300_Kvartær_ler overlejrer og isolerer 1400_Kvartær sand i dalen.



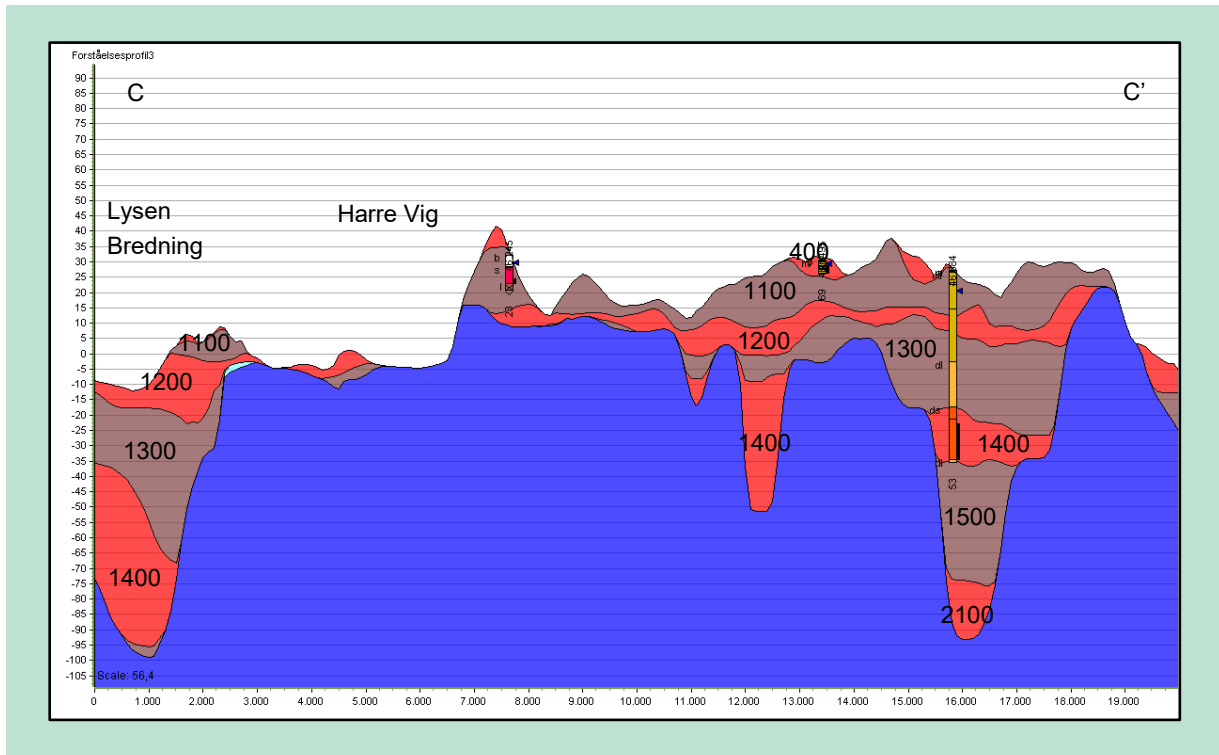
FIGUR 15. Profilet A – A' illustrerer de tolkede lag i modellen i et profil fra den sydvestlige del af Salling mod nordøst hen over Batum salt diapiren.

I Figur 16 ses lagene i et øst-vest profil placeret i den sydlige del af Salling. 1100_leret og 400_sandet findes terrænnært, hvor det danner morænelandskab og hedeslette. Det bemærkes, at det regionale magasin, 1200_sandet, er tolket til at have en tykkelse op til ca. 50 m omkring 14,000m i profilet.



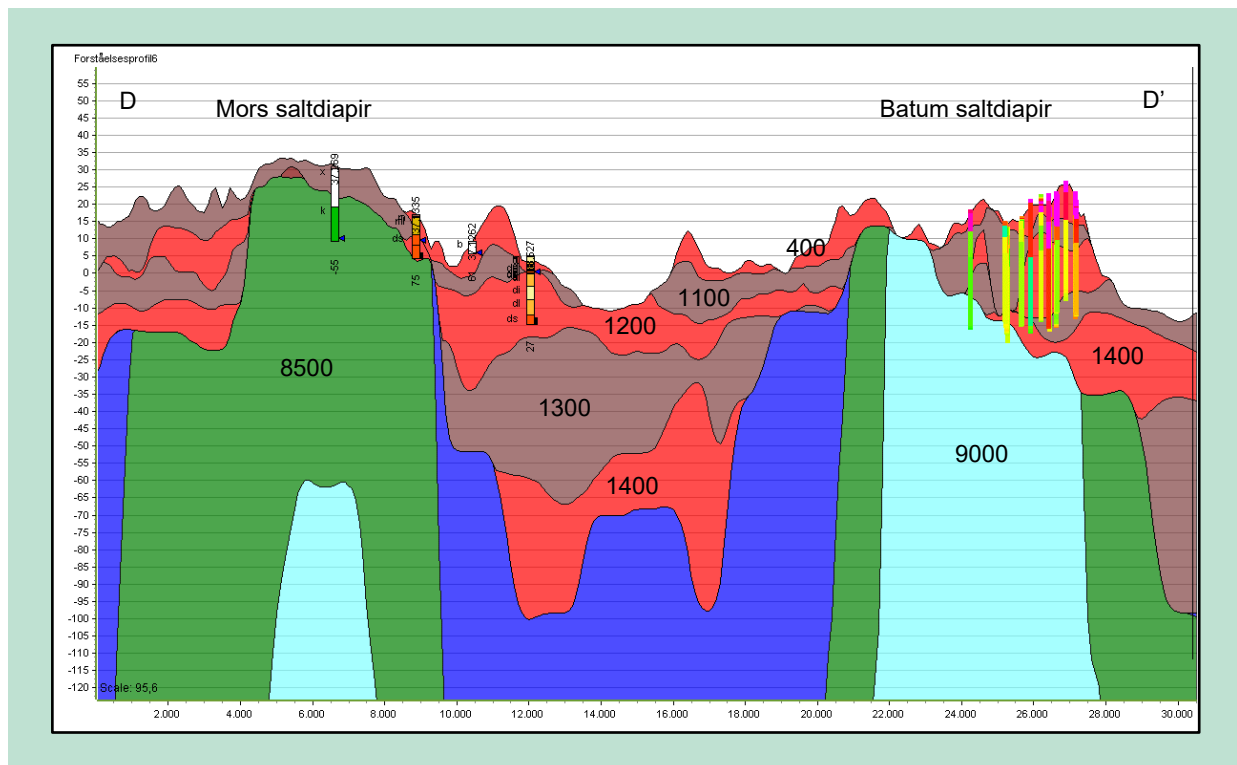
FIGUR 16. Profilet B – B' illustrerer de tolkede lag i modellen i et øst – vest profil i den sydlige del af Salling. Tolkningen er i overensstemmelse med den geologiske forståelsesmodel (Bilag 4).

I Figur 17 er 1200_Kvartær_sand tolket som et regionalt magasin. 1100_leret er ligeledes tolket regionalt, men leret er eroderet væk flere steder bla. ved Lyset Bredning og Harre Vig i Limfjorden syd for Sallingsund. 1400- og 2100_sandet er tolket til stede i de begravede dale. Det Miocæne sand mangler pga. erosion i denne nordlige del af kortlægningsområdet.



FIGUR 17. Profilet C – C' illustrerer de tolkede lag i modellen i et øst – vest profil i den mellemste del af Salling.

I Figur 18 er 1200_Kvartær_sand tolket som et regionalt magasin. 1300_leret isolerer 1400 sandet mellem diapirene ved Batum og Mors. Det Miocæne sand mangler i denne del af Salling pga. erosion. Det bemærkes, at 9000_skrivekridt går i dagen ved Batum diapiren. Generelt er tolkningen i denne del af kortlægningsområdet noget usikker pga. relativt få data.



FIGUR 18. Profilet D – D' illustrerer de tolkede lag i modellen i et øst – vest profil i den nordlige del af Salling og Mors.

Udbredelsen og tykkelsen af alle de kortlagte enheder er vist i Bilag 5 – 17, og de vil kort blive beskrevet i det følgende.

4.1.2 Kvartære enheder

Terrænnære enheder

300_Kvartær_ler findes sporadisk og er kun tolket til stede i den sydlige del af Salling, hvor enheden de fleste steder er under 5 m tyk, men lokalt kan opnå tykkelser op til 20 m (Bilag 5). Enheden består overvejende af moræneler.

400_Kvartær_sand findes sporadisk over det meste af Salling og på Mors, hvor enheden de fleste steder er under 20m tyk, men lokalt kan opnå tykkelser op til 30 m. (Bilag 6). Enheden består mest af senglacialt smeltevandssand og –grus.

Plateau enheder

1100_Kvartær_ler findes ved terræn i områder, hvor 300_Kvartær_ler og 400_Kvartær_sand ikke er tolket til stede. Aflejringerne er afsat i forbindelse med et bundmorænelandskab dannet under sidste istid, Weichsel. Enheden findes over det meste af Salling og Mors undtagen i den sydligste del af kortlægningsområdet (Bilag 7), hvor hedeslette dannet af smeltevandssand findes terrænnært og i modellen er tolket som enheden 1200_Kvartær_sand. Enheden er generelt mindre end 20 m tyk, men kan lokalt opnå tykkelser op til 40 m.

1200_Kvartær_sand er det primære magasin i kortlægningsområdet. Laget består af smeltevandssand og –grus. I det meste af området er tykkelsen mindre end 20 m, dog kan laget opnå tykkelser op til 40 m typisk i de begravede dal strukturer (Bilag 8), hvor laget typisk er til stede i de øvre dele af dalen.

1300_Kvartær_ler består primært af moræneler, silt og ler. Enheden opnår tykkelser op til ca. 50 m i fjordene, henholdsvis øst og vest for Salling, men denne tolkning er usikker, da der mangler data i disse område. I Salling er enheden også op 50 m tyk typisk i de begravede dale (Bilag 9). Enheden mangler i dele af Salling sandsynligvis pga. erosion under af-

lejringen af enheden 1200_Kvartær_sand. Det ses i Bilag 8 & 9 at områder, hvor 1300_Kvartær_ler er tynd eller mangler typisk har en tyk 1200_Kvartær_ler enhed. Dette kunne forklares med erosion i leret og efterfølgende opfyldning med sand.

1400_Kvartær_sand findes primært i fjordene omkring Salling samt som dal fyld i de begravede dale, hvor enheden kan være op til 60 – 80 m tyk (Bilag 10). Enheden består af smeltevandssand og -grus.

1500_Kvartær_ler findes generelt i de begravede dal systemer, hvor enheden er 40 – 60 m tyk. De tykkeste dele ses i fjordene uden for Salling, men disse store tykkelser er meget usikre.

2100_Kvartær_sand er tolket som det dybest liggende magasin i Salling. Det er op til 40 m tykt, og enheden er tolket til stede i de dybeste dele af de begravede dal systemer i den nordøstlige del af Salling (Bilag 12). Enheden består af smeltevandssand og -grus.

4.1.3 Miocæne enheder

Enheden 7300_Vejle_Fjord_VFL3 tilhører Vejle Fjord Formationen, som er beskrevet i /10/. Lithologien er beskrevet i detaljer i 14/ fra borekerner i boringen DGU 46.611 ved Harre i Salling. Formationen består mest af mørkt glimmerler (gl), men lithologien veksler med indslag af sandede lag samt lerede sedimenter med højt organisk indhold /14/.

I nærværende kortlægning udgør enheden det Tertiære ler, der er kortlagt over det Miocæne sand. Enheden er udbredt i store dele af Jylland syd for Limfjorden /14/ og blev aflejret i Miocæn og Oligocæn. I nærværende kortlægning kiler enheden ud mod nordøst ligesom det Miocæne sand, men der er usikkerhed om enhedens alder og formationen kan være til stede længere mod nord i Salling, hvor enheden er yngre formodentlig af Oligocæn alder. Enheden er op til 50 m tyk (Bilag 13).

Det Miocæne sand tilhører FOHM enheden 7800_Billund_BDS0. Enheden er kiler ud mod nordøst pga. erosion og er kortlagt i det sydlige del af Salling, hvor enheden er 8 – 10 meter tyk. Enkelt steder er enheden kortlagt til at være tykkere op til ca. 14 meter (Bilag 14).

4.1.4 Paleogent ler

8000_Paleogent_ler er udbredt i det meste af model området, og det er stedvis op til 400 m tykt. Enheden er dog eroderet væk over salt diapirene ved Batum og Mors (Bilag 15).

4.1.5 Kalk

8500_Danien_kalk findes i hele kortlægningsområdet undtagen, hvor enheden er eroderet væk ved diapiren ved Batum og delvis på Mors (Bilag 16). Enheden har nogenlunde konstant tykkelse, omkring 300 m, i kortlægningsområdet i overensstemmelse med boringer udenfor diapiren (se Tabel 5 og beskrivelser i afsnit 4.1.1). De meget store tykkelser mere end 500 m i randen af salt diapirene er ikke reelle, men skyldes at lagene i modellen står stejlt i randen af salt diapiren, hvorved laget får en meget stor lodret isochore tykkelse, der overstiger lagets reelle isopach tykkelse.

9000_Skrivekridt har konstant tykkelse 904 m uden for salt diapirene (Tabel 5), men lagenes stejthed i randen af salt diapirene betyder at den lodrette tykkelse er for høj i forhold til isopach tykkelsen (Bilag 17). Enheden er tyndere omkring 500 m ved Batum diapiren pga. erosion.

5. Model usikkerhed

Overordnet omfatter vurderingen af en geologisk models usikkerhed en vurdering af usikkerheden af de enkelte datasæt og en vurdering af de tolkninger, der er foretaget på baggrund af en kombination af flere datasæt. Sammentolkningen af de forskellige datasæt kan medføre en bedre forståelse for den geologiske opbygning end det enkelte datasæt kan tilvejebringe.

En vurdering af usikkerheden på den rumlige geologiske model indikerer, hvor sikkert modelløren vurderer, at den geologiske tolkning repræsenterer de geologiske lag og strukturer. Usikkerhedsvurderingen er en (subjektiv) vurdering af, hvor godt modellen opløser lagserien - "hvor meget tror man på tolkningen/modellen".

Usikkerheden afhænger således i høj grad af de geologiske forhold. Hvis lag let kan følges over lange afstande, og geologien kendes i dybden, vil usikkerheden være lav, mens områder med komplicerede forhold, f.eks. ved glacialtektonik, kun vanskeligt kan opløses med borer og geofysik og vil derfor have en middel til høj usikkerhed. I nogle profil tolkninger er det observeret i Salling kortlægningen, at geofysiske data ikke understøttes af boringsdata, hvilket naturligt øger usikkerheden.

I Salling kortlægningen er usikkerheden vurderet med 3 usikkerhedsniveauer, og kriterierne for vurderingen er beskrevet kort nedenfor.

Lav usikkerhed

Geologien opløses af data og data kan stå alene. Korrelation af lagene i modellen er entydig, og tolkningen er således ikke afhængig af den enkelte modellørs erfaring. Dybe borer er godt beskrevet og understøttes af de geofysiske data.

Moderat usikkerhed

Geologien opløses delvist af data. Tolkningen er kompliceret og afhængig af information fra tilstødende områder uden for profilet eller indirekte data som f.eks. topografi. Der kan enten være få data eller data af dårligere kvalitet f.eks. relativt korte borer, der ikke opløser lagserien i dybden, men geofysikken viser, at geologien er relativt ensartet.

Høj usikkerhed

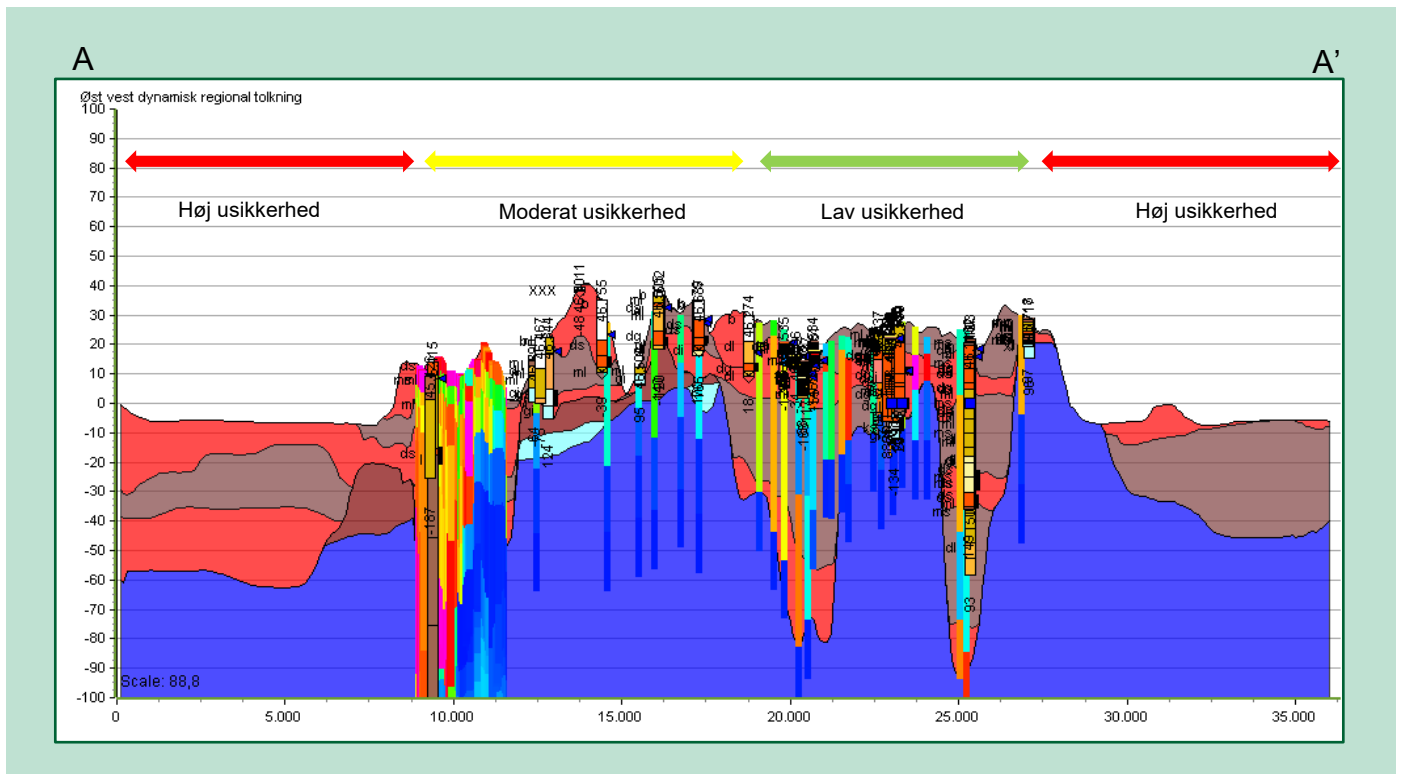
Geologien er for kompliceret til at kunne opløses af data. Eller der findes ingen eller kun få borer og/eller geofysik af dårlig datakvalitet. Borer er typisk korte og opløser ikke geologien i dybden. Tolkningen er derfor overvejende baseret på information/ekstrapolation fra tilstødende områder.

I Salling modellen er usikkerheden for det Miocæne sand vurderet til at være høj alle steder, da sandet ikke opløses af geofysik, og tolkningen derfor hovedsagelig må baseres på boringsdata og forståelse af det geologiske aflejningsmiljø. I modsætning hertil er usikkerheden for kalken vurderet til at være lav pga. god datadækning over salt diapirerne, hvor kalken udgør et grundvandsmagasin. Hvor kalken er for dybt under terræn til at komme i betragtning som grundvandsmagasin er det ikke vurderet relevant at vurdere usikkerheden. Af de nævnte grunde er der ikke foretaget en arealmæssig vurdering af usikkerheden for kalken og for det Miocæne sand.

Når usikkerheden skal vurderes er det vigtigt at gøre sig klart på hvilken skala usikkerheden skal vurderes på. I længere profiler som vist i Figur 18, hvor profilet er over 30 km langt, vil usikkerheden naturligt variere fra lav til høj langs profilet, og dette bør afspejles i vurderingen. I Salling modellen er det valgt at vurdere usikkerheden på en skala omkring 500 – 1000 m.

Usikkerhedsvurderingen for tolkningen af Kvartæret er indlagt i modellen som en separat højdemodel med afsætning af usikkerheder i form af tolkningspunkter for hver 1000 m i et dynamisk øst – vest profil, der forskydes fra syd mod nord

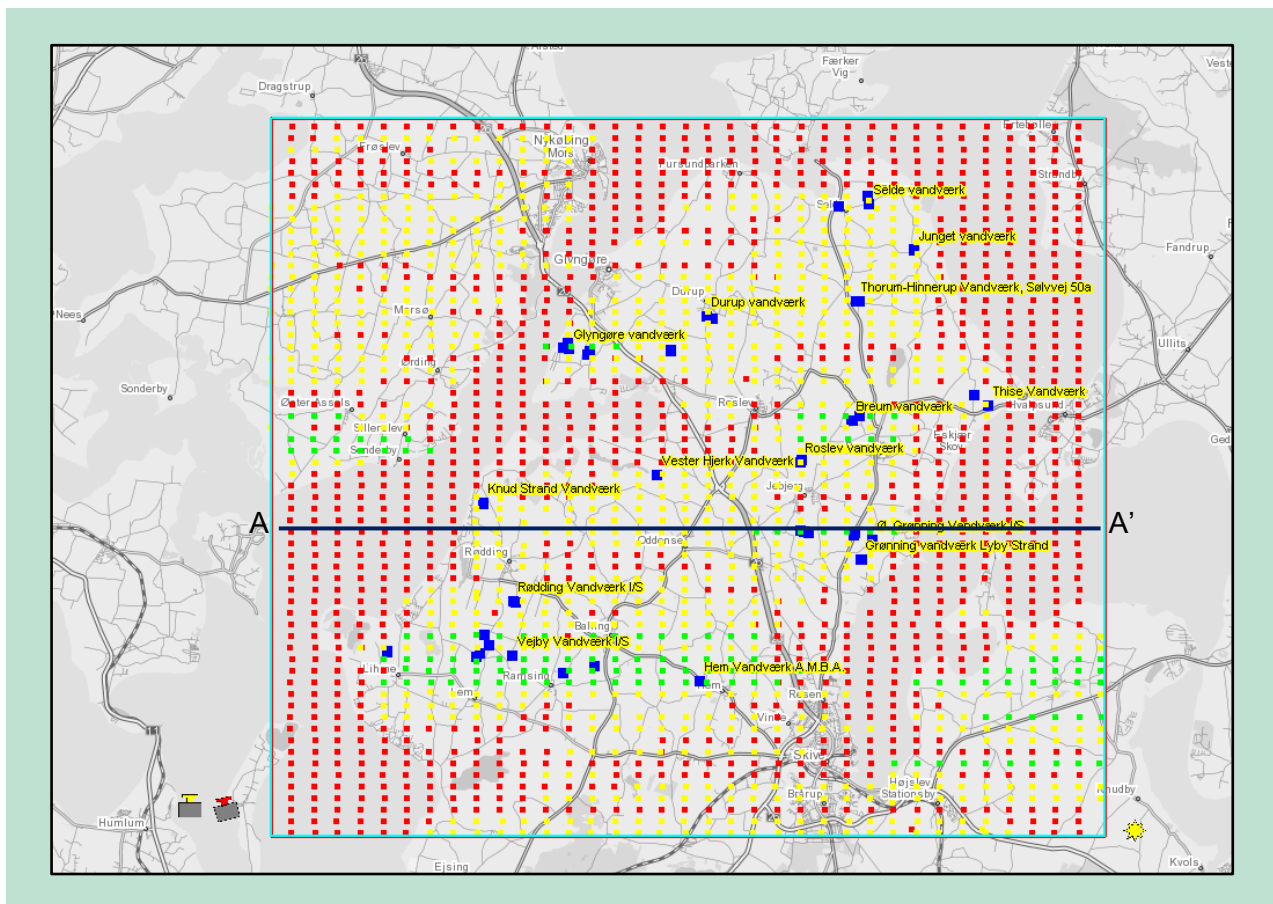
med en afstand på 500 m mellem hver profil tolkning. Et eksempel på tolkning af usikkerhed i et af disse dynamiske profiler er vist i Figur 18, og resultatet af vurderingen for hele Salling modellen er vist i Figur 19.



FIGUR 19. Fjordene øst og vest for Salling er uden data. Modellen er her baseret på ekstrapolation og har derfor høj usikkerhed. I resten af profilet er modellens usikkerhed vurderet som lav til moderat. Profilets placering er vist i Figur 19.

Overordnet er det meste af modellen i Salling og Mors vurderet til at have moderat usikkerhed. Enkelte områder omkring Vejby, Hem Glyngøre og Breum vandværkerne er vurderet til at have lav usikkerhed primært pga. god datadækning i disse områder. Ved Knud Strand vandværk, hvor der er indhentet nye tTEM data i 2021 er usikkerheden vurderet til at være moderat pga. meget få borer i nærheden af vandværket, der kan belyse den dybere geologi.

Det ses i Figur 19 & 20, at der er store områder uden data i fjordene omkring Salling og modellen har høj usikkerhed i disse områder. Over det meste af Salling og Mors er usikkerheden vurderet til at være moderat, dog er usikkerheden høj i data svage områder i den sydlige og nordlige del af Salling (Figur 20). Der er ikke indmeldinger fra Skive kommune i områder med høj usikkerhed.



FIGUR 20. Salling modellens vurderede usikkerhed illustreret ved tolkningspunkter i GeoScene3D. Grønne tolkningspunkter viser områder med lav usikkerhed, gule tolkningspunkter viser moderat usikkerhed og røde punkter illustrerer områder med stor usikkerhed i tolkningen. Blå symboler viser placeringen af indmeldte vandværker. Placeringen af profillet A – A' i Figur 18 er også vist.

Litteraturliste

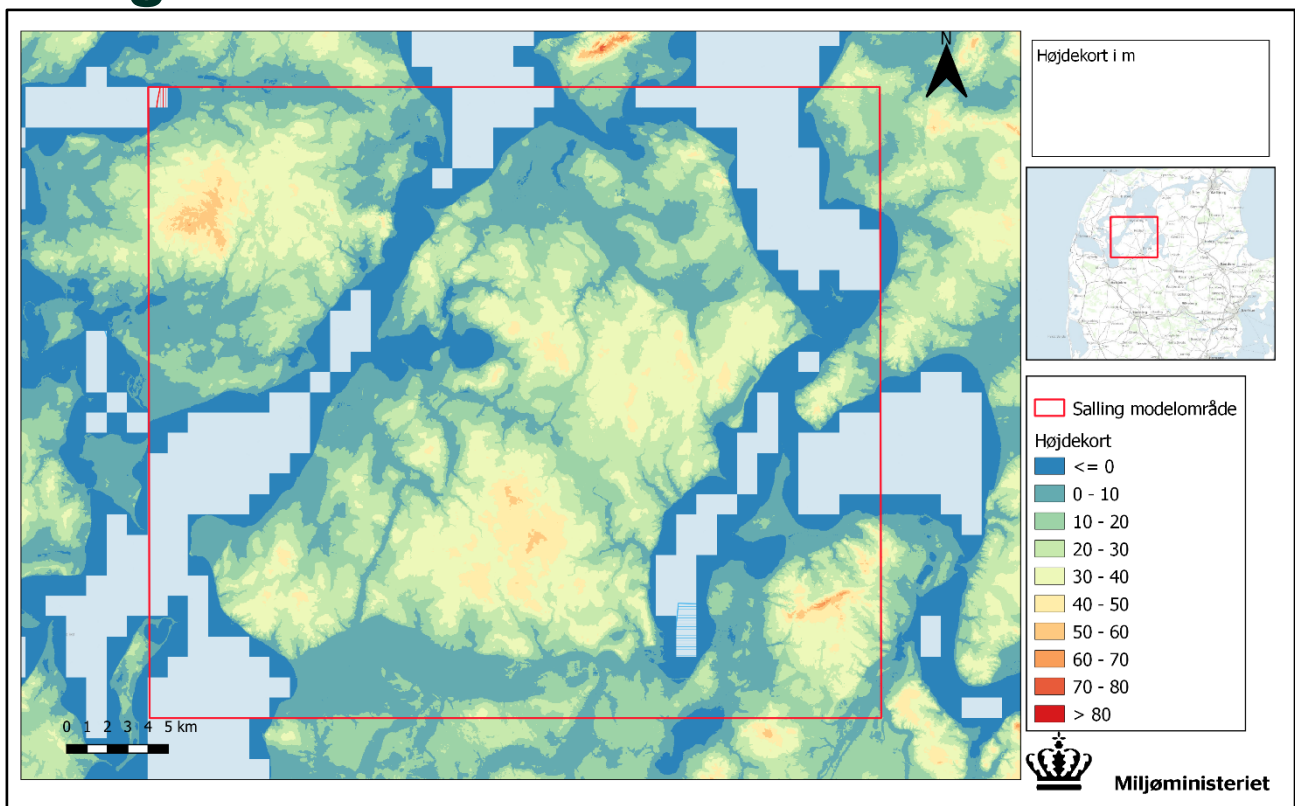
1. Bekendtgørelse af lov om vandforsyning m.v. Miljø- og Fødevareministeriet. LBK nr 1026 20 oktober 2008.
2. Opstart Salling Grundvandskortlægning Miljøstyrelsen 14 juni 2019.
3. Samling af geologiske modeller i Jylland FOHM Fælles Offentlig Hydrologisk Model.
4. BNBO beregningsproceduren. 9 juni 2019 Miljøstyrelsen.
5. Geo-vejledning 2018/1. Opstilling af geologiske modeller til grundvandsmodellering.
6. Processering af tTEM ved Knud Strand vandværk Miljøstyrelsen 2021. Miljøstyrelsen 2021.10.04.
7. Riffelseismisk undersøgelse over Batum saltstrukturen i NØ Salling. Viborg Amt, COWI 2002
8. Geologisk set. Det nordlige Jylland. En beskrivelse af områder af national geologisk interesse. Miljø- og Energiministeriet – skov og naturstyrelsen 1997.
9. Geologisk model for Durup-Balling indsatsområder – opstilling af forståelsesmodel og hydrostratigrafisk model. Miljøcenter Ringkøbing Skive kommune 25 marts 2010.
10. Miocæn 3D. Den rumlige model GEUS rapport 2015.
11. Jordprøver fra grundvandsboringer Geo-vejledning 1. GEUS 2017.
12. Saltdiapirens betydning for den Kvartære kronologi: Batum – et eksempel. I. Madirazza, 1978. DGF Aarhus Universitet.
13. Friis, H. 1994. The role of faecal pellets in deposition of marine muddy sediments – examples from Danish Tertiary. Bull. Geol. Society of Denmark Vol. 42. sider 68 – 73.
14. Heilmann-Clausen, C. 2009. Vejle Fjord Formationen i Den Store Danske. Online leksikon.

Liste over bilag

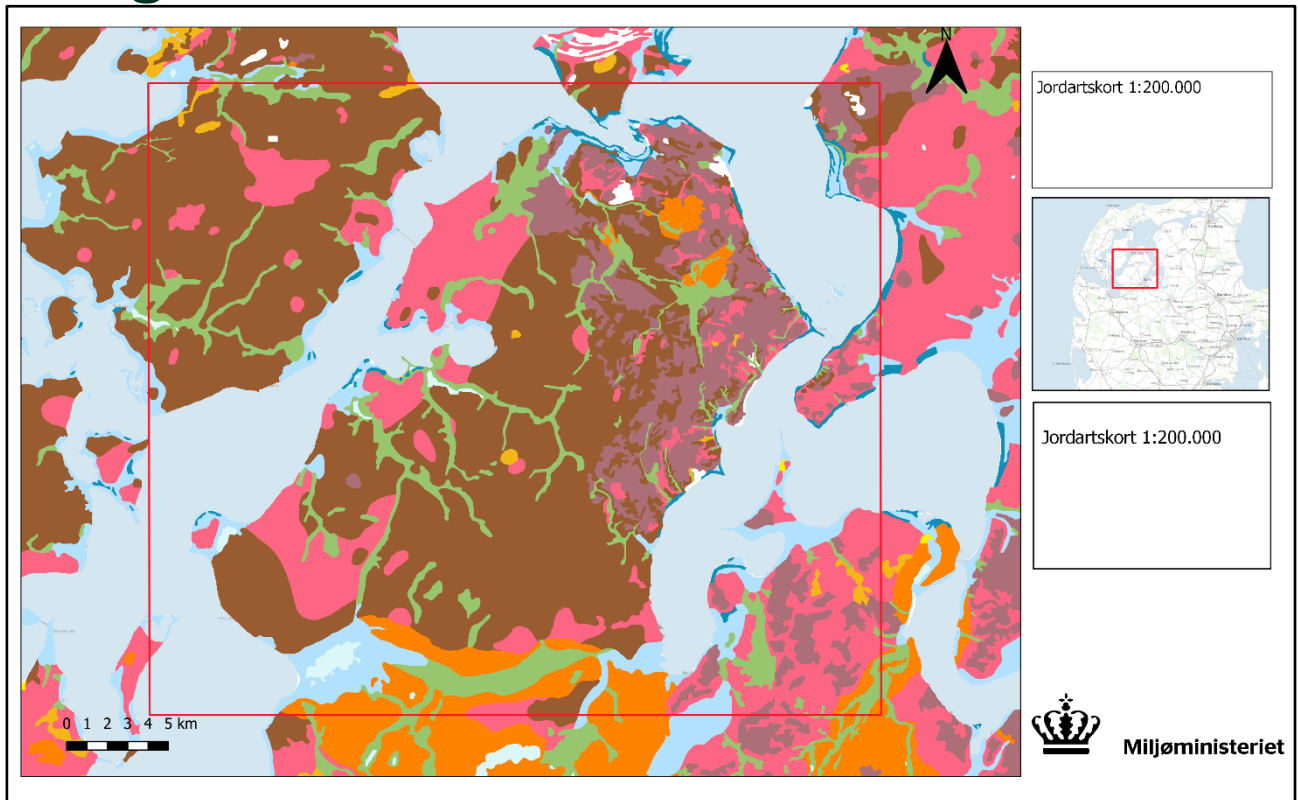
1. Bilag 1. højdekort 1:200000
2. Bilag 2. jordartskort 1:200000
3. Bilag 3. Per Smed landskabskort
4. Bilag 4. Geologisk principskitse
5. Bilag 5. 300_Kvartær_ler_tykkelse
6. Bilag 6. 400_Kvartær_sand_tykkelse
7. Bilag 7. 1100_Kvartær_ler_tykkelse
8. Bilag 8. 1200_Kvartær_sand_tykkelse
9. Bilag 9. 1300_Kvartær_ler_tykkelse
10. Bilag 10. 1400_Kvartær_sand_tykkelse
11. Bilag 11. 1500_Kvartær_ler_tykkelse
12. Bilag 12. 2100_Kvartær_sand_tykkelse
13. Bilag 13. 7300_Vejle_Fjord_VFL3_tykkelse
14. Bilag 14. 7800_Bilund_BDS0_tykkelse
15. Bilag 15. 8000_Paleogen_ler_tykkelse
16. Bilag 16. 8500_Danian_kalk_tykkelse
17. Bilag 17. 9000_Skrivekridt_tykkelse

Logbog

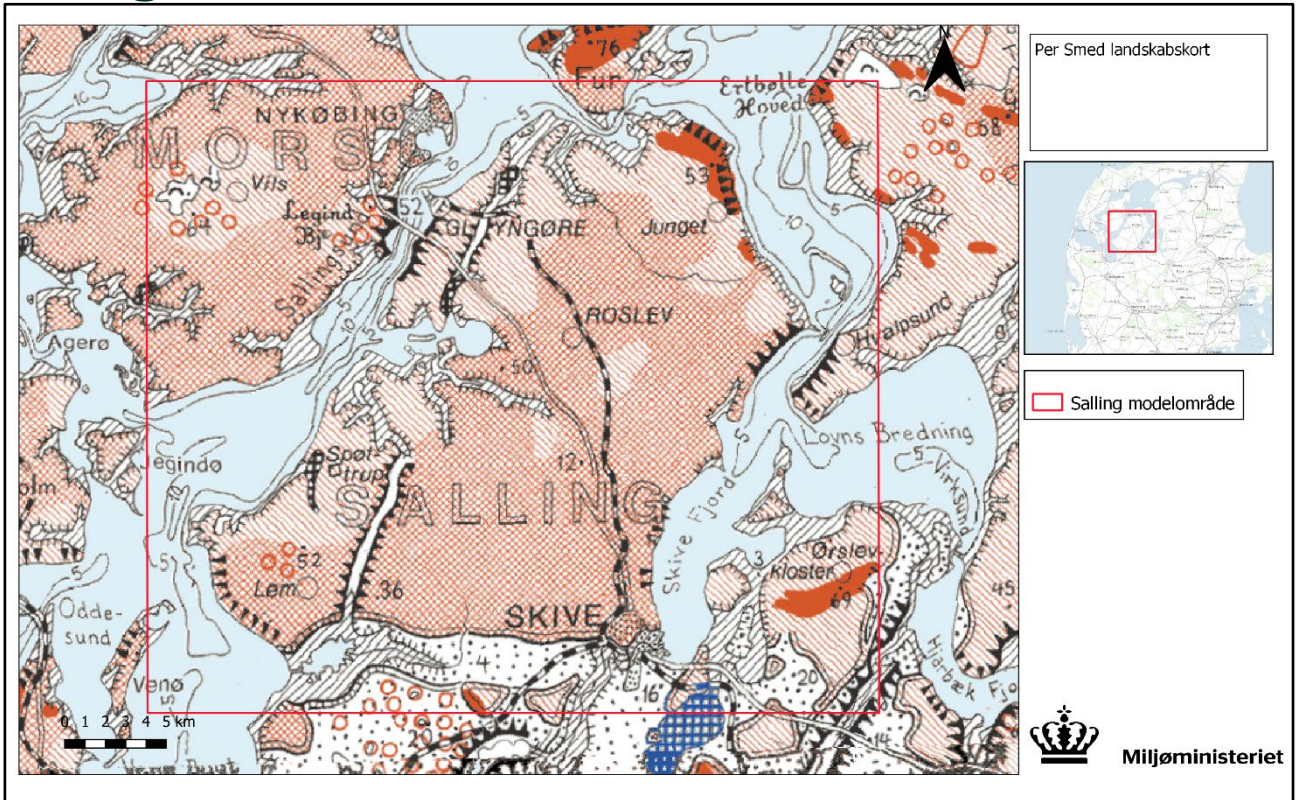
Bilag 1



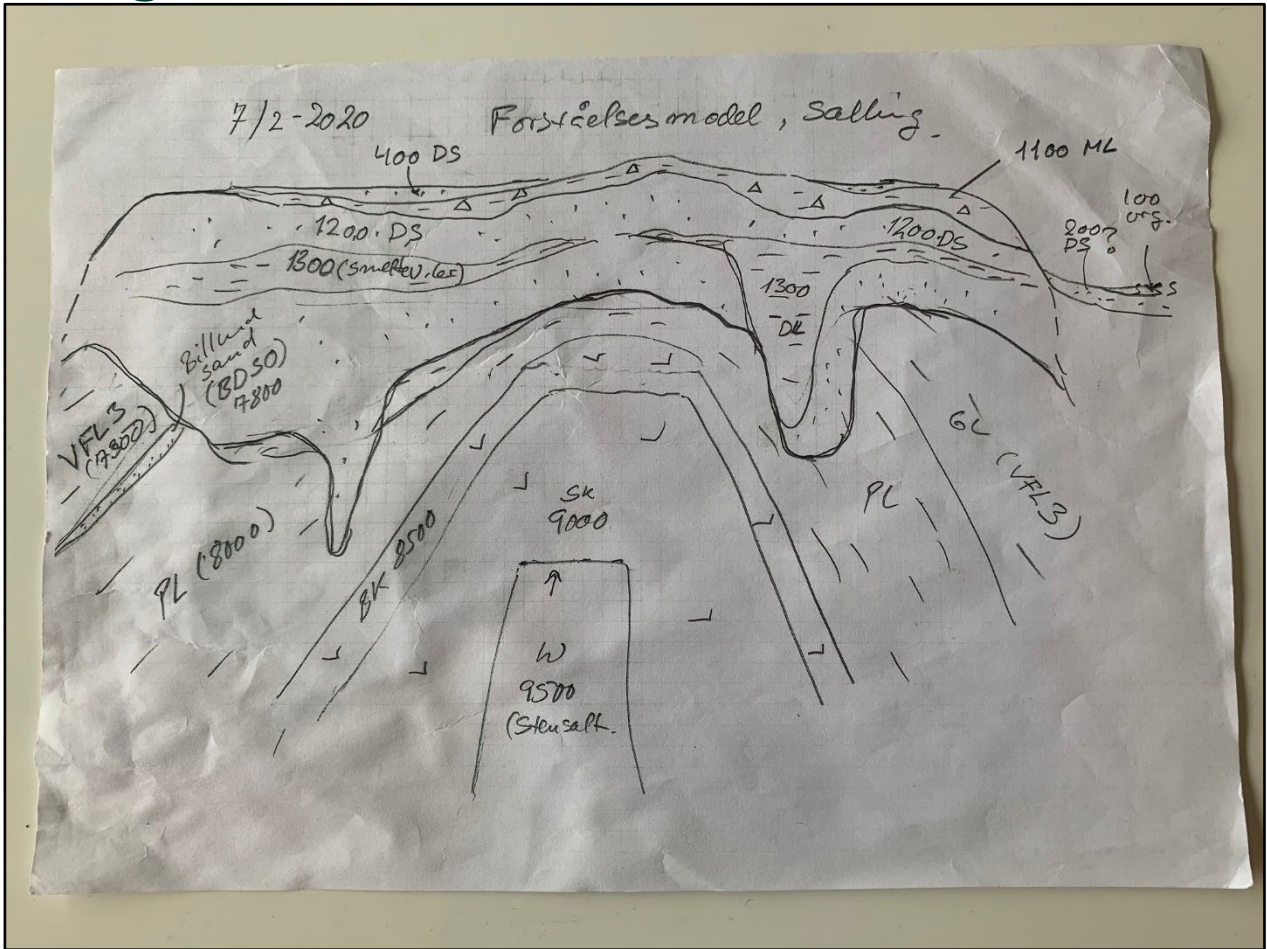
Bilag 2



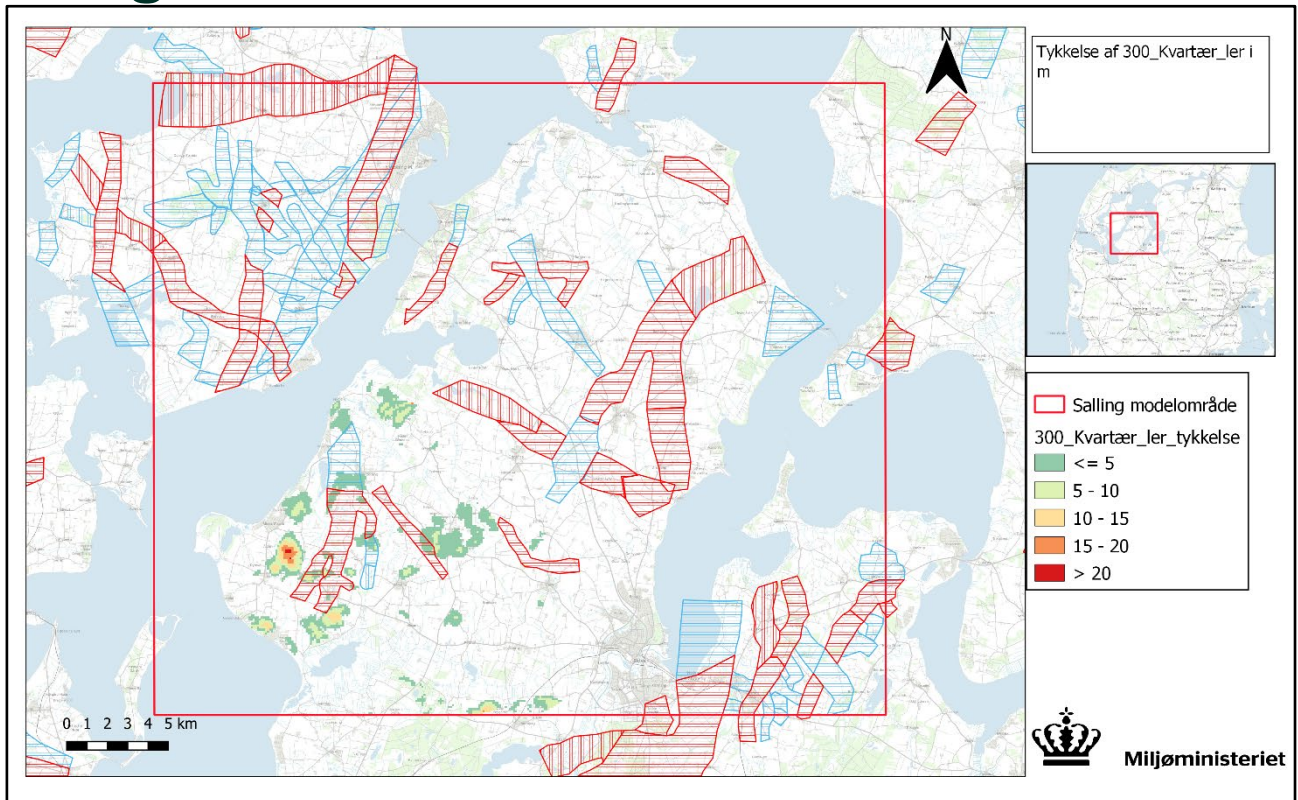
Bilag 3



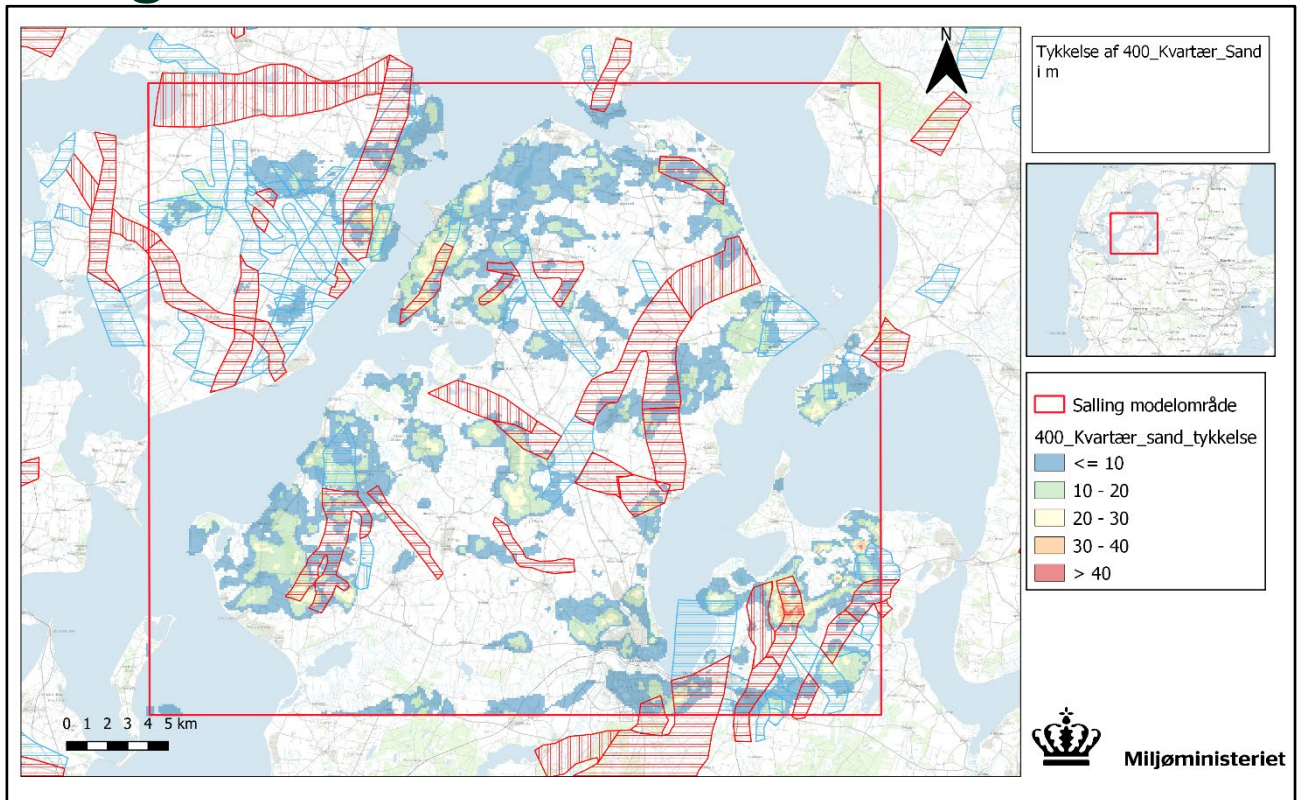
Bilag 4



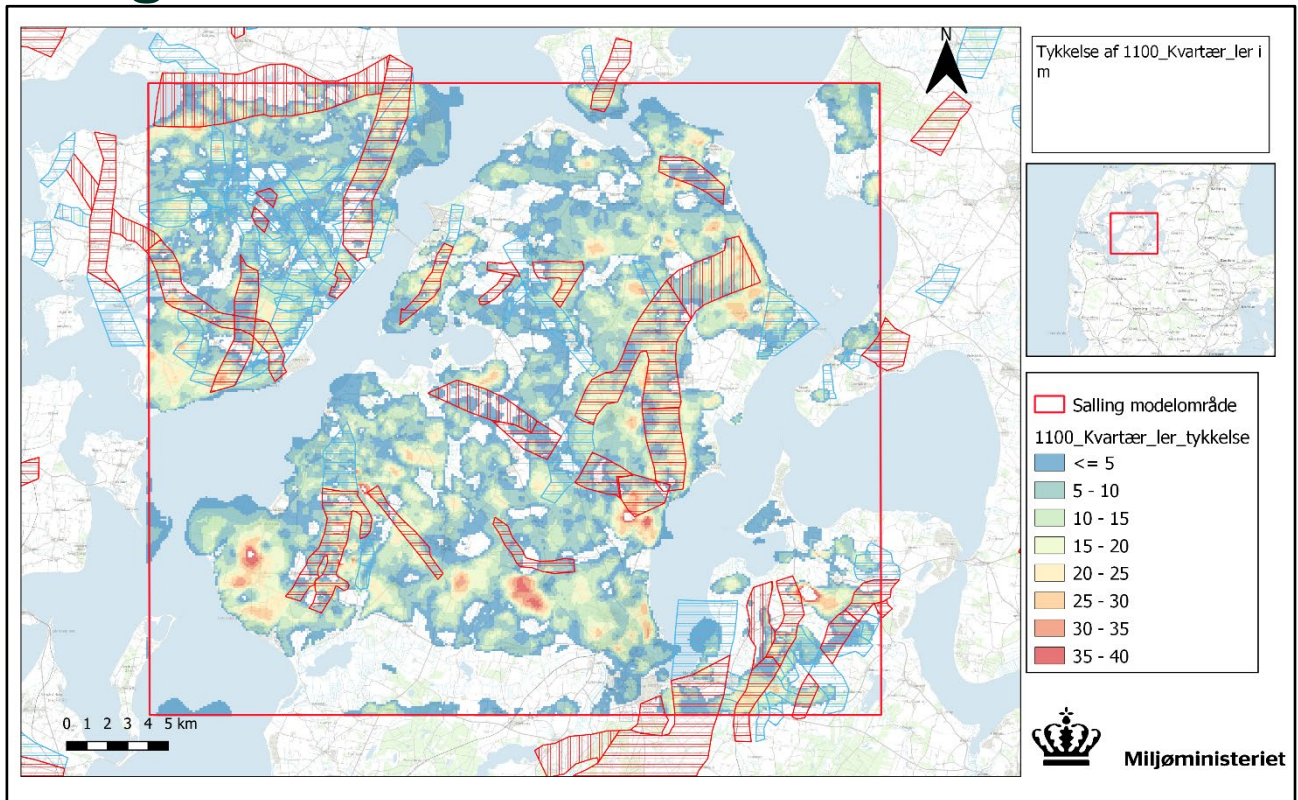
Bilag 5



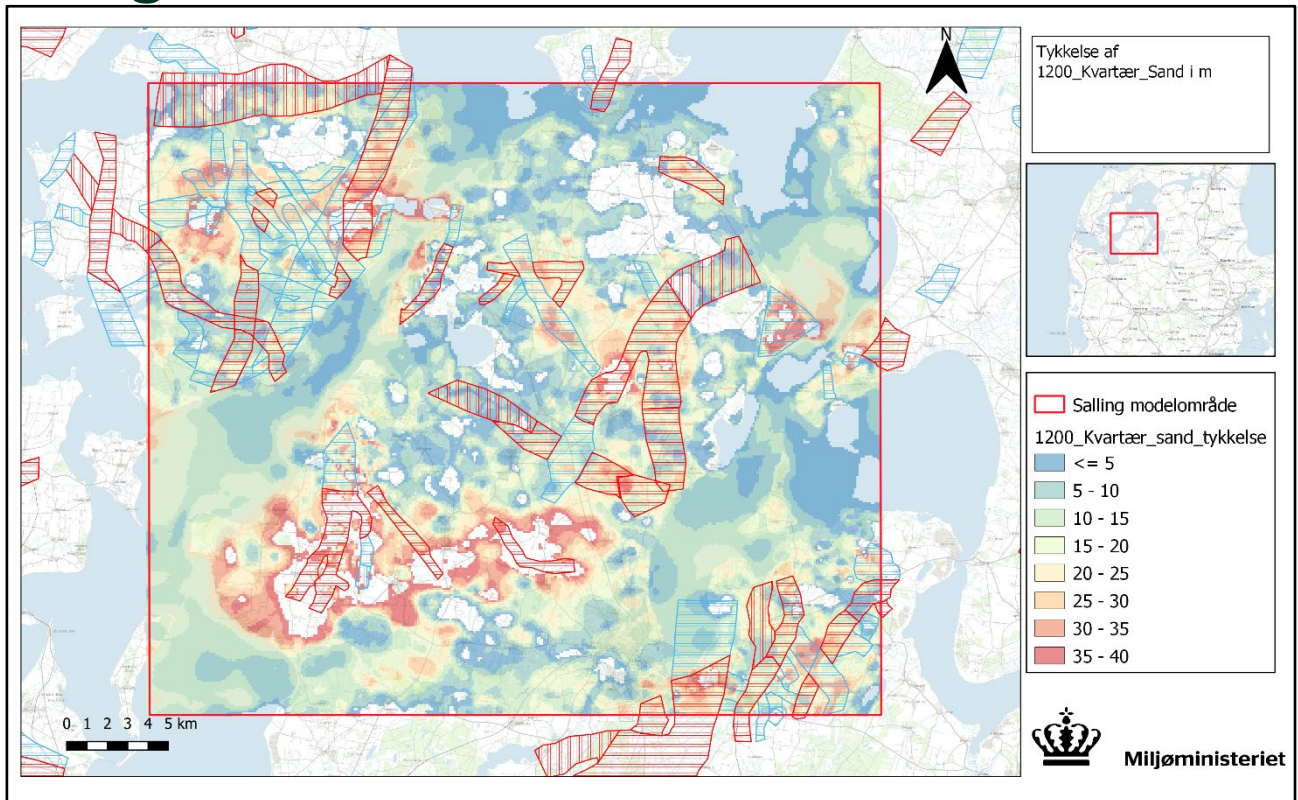
Bilag 6



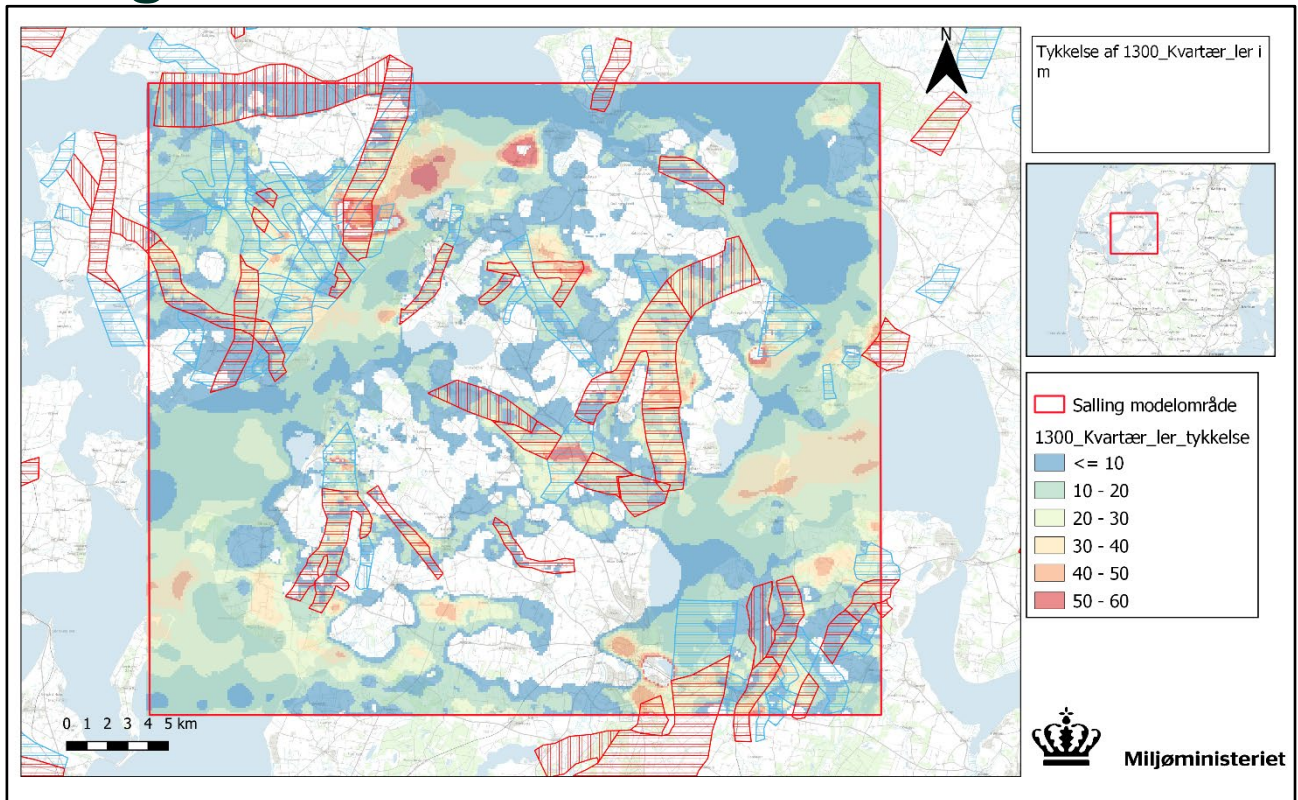
Bilag 7



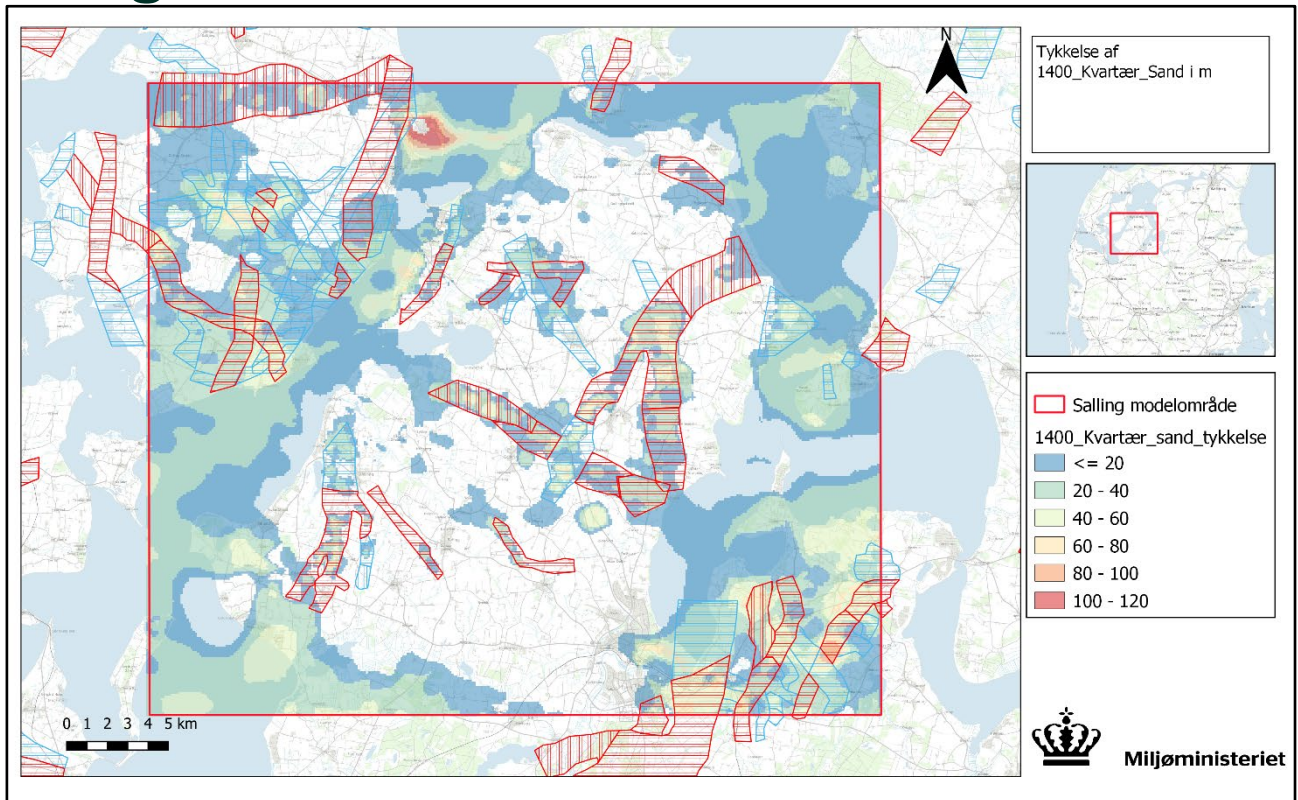
Bilag 8



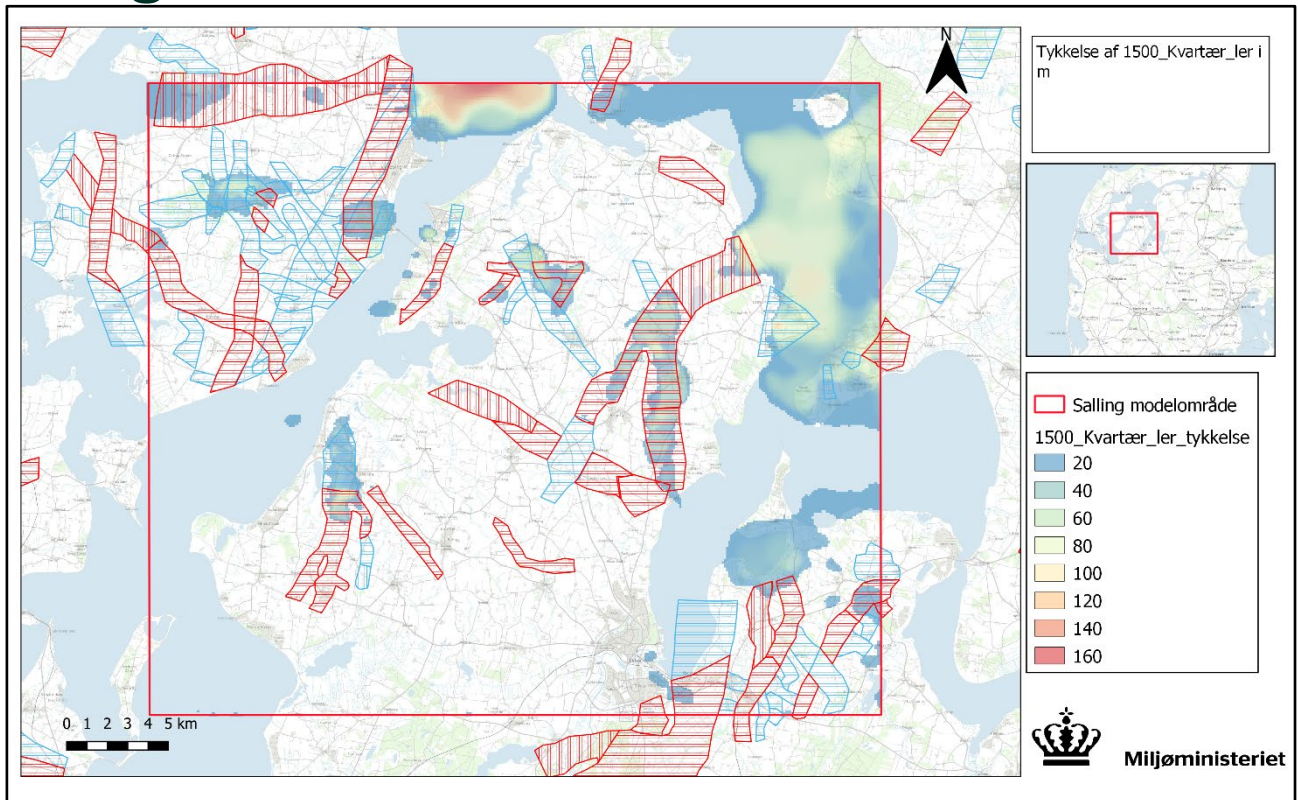
Bilag 9



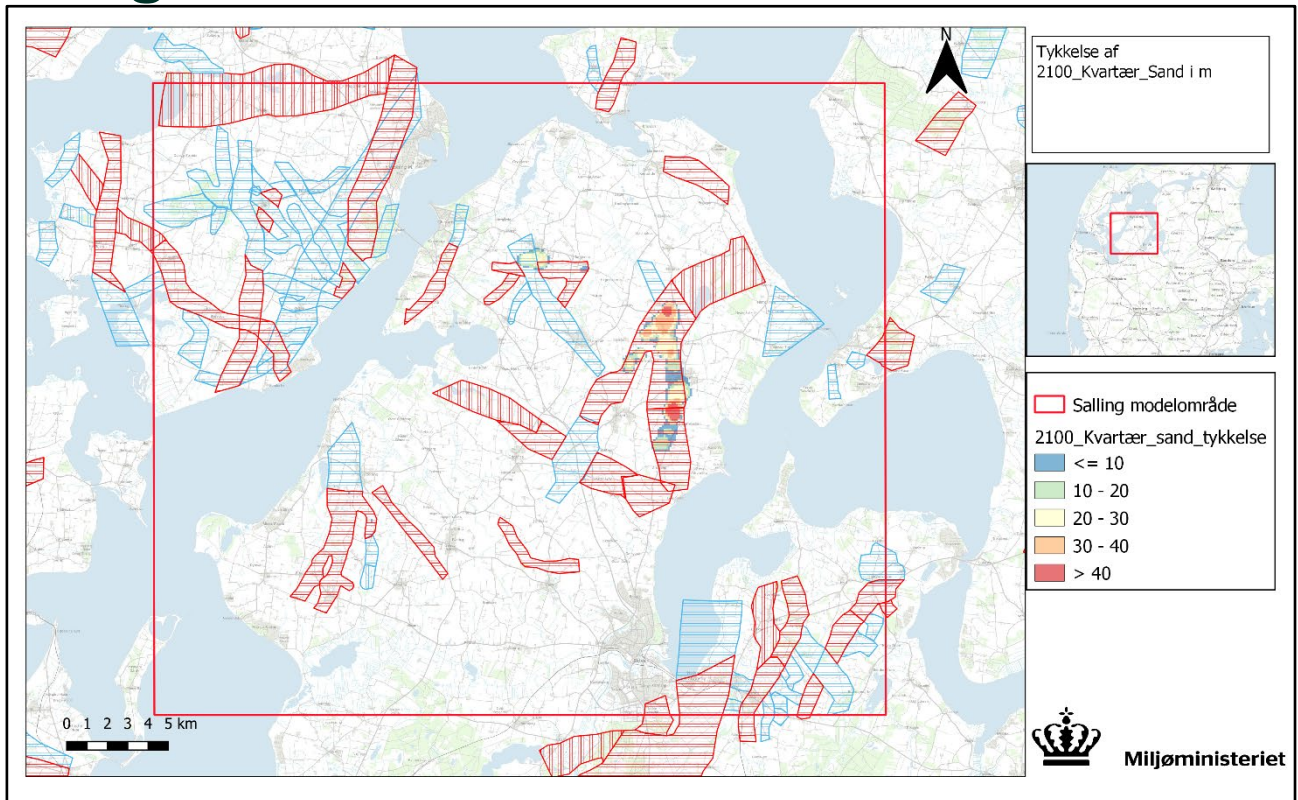
Bilag 10



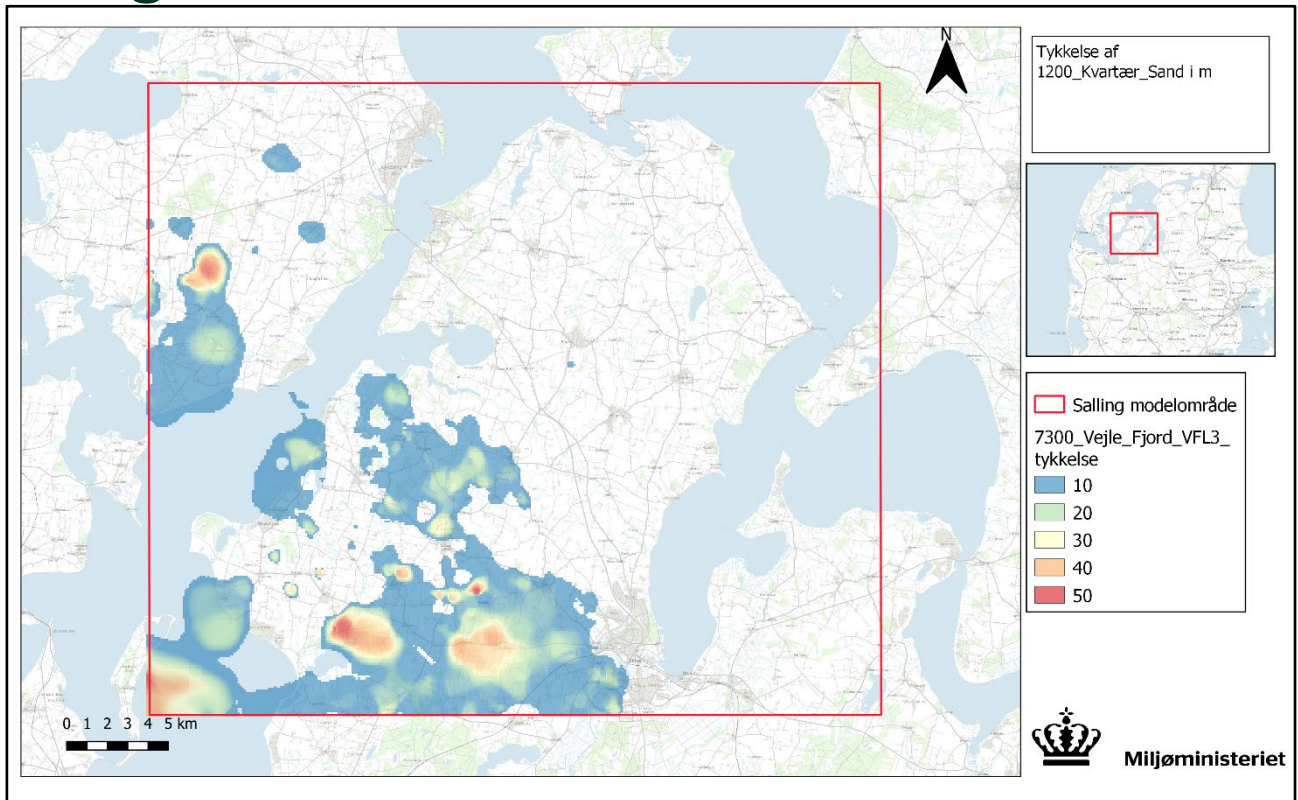
Bilag 11



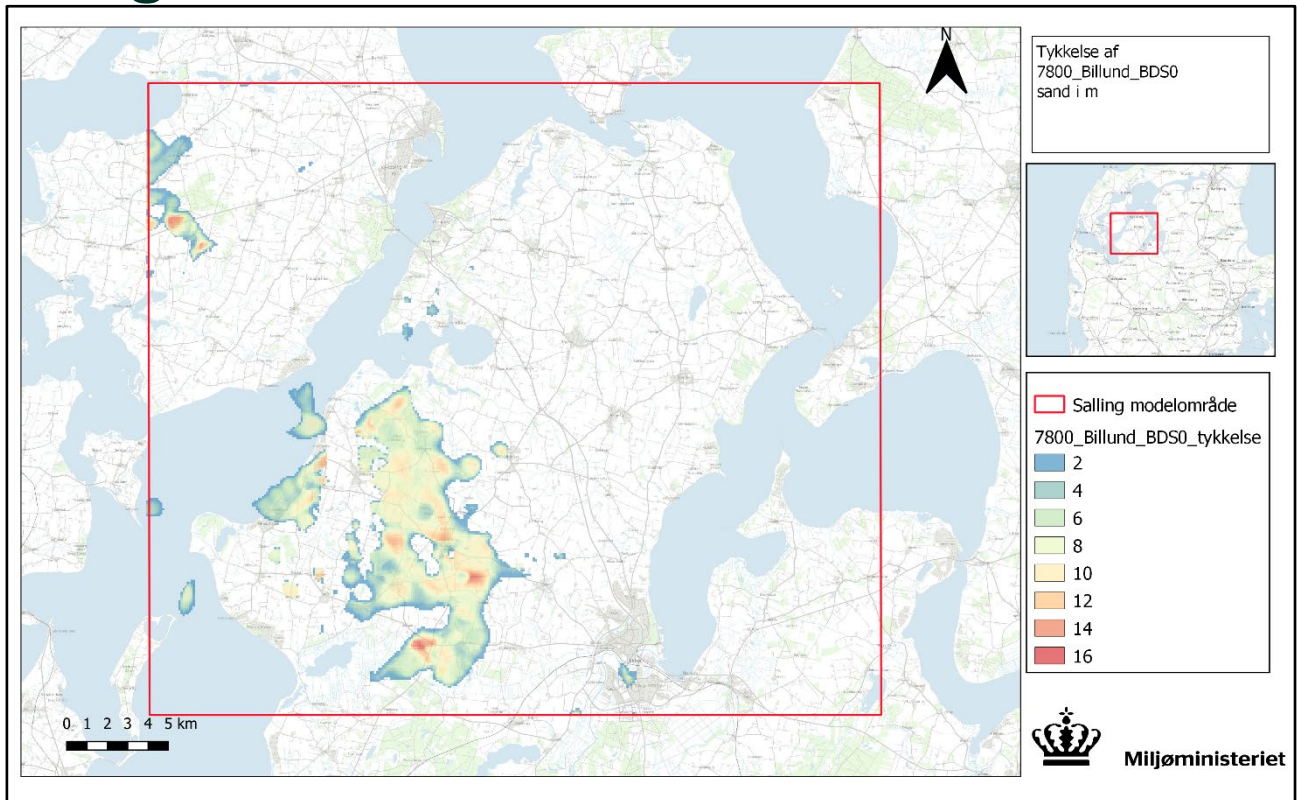
Bilag 12



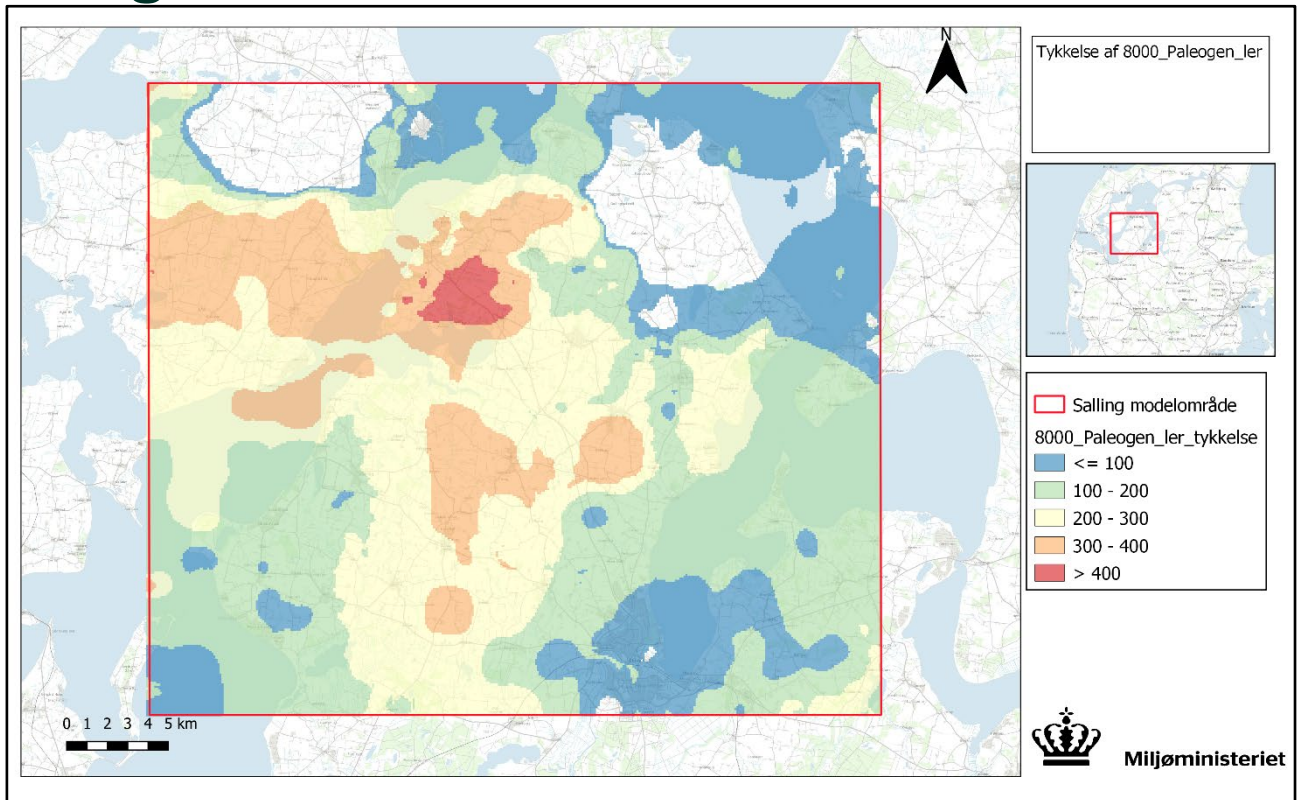
Bilag 13



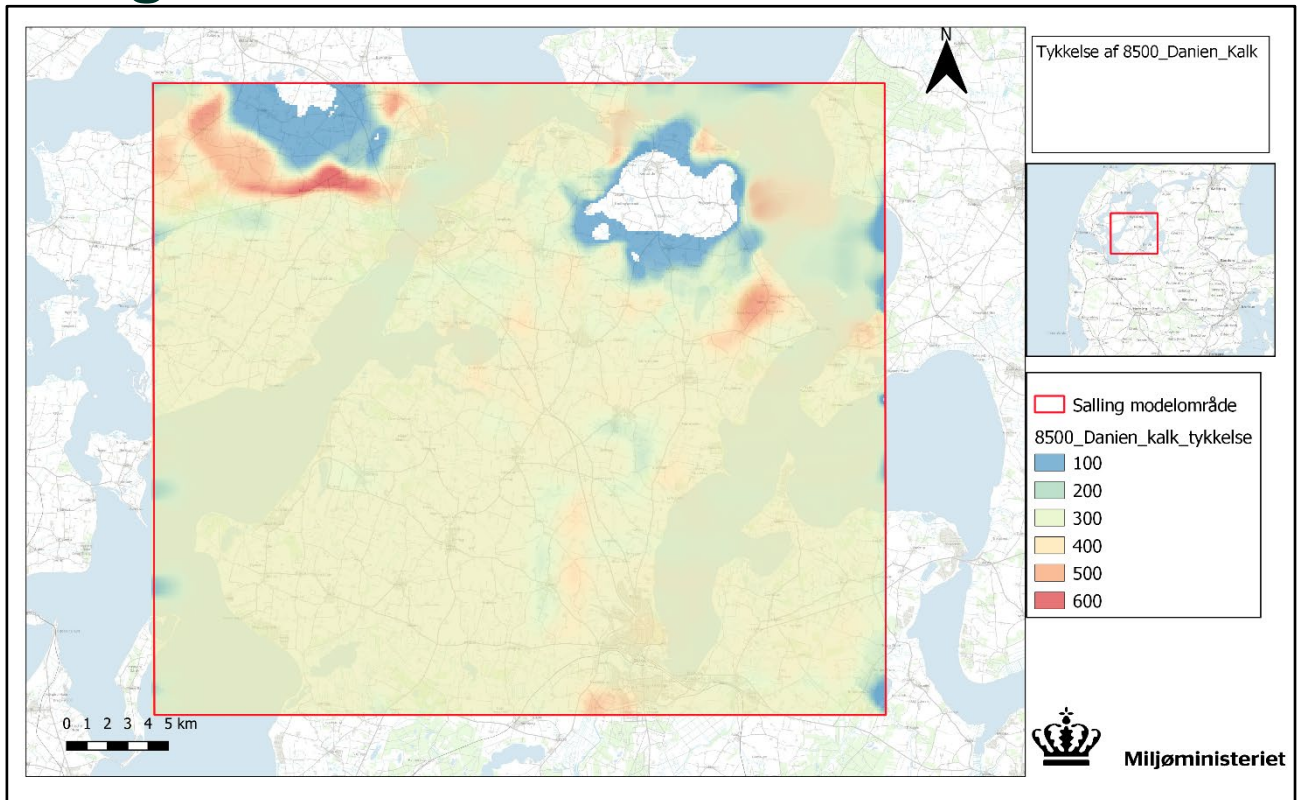
Bilag 14



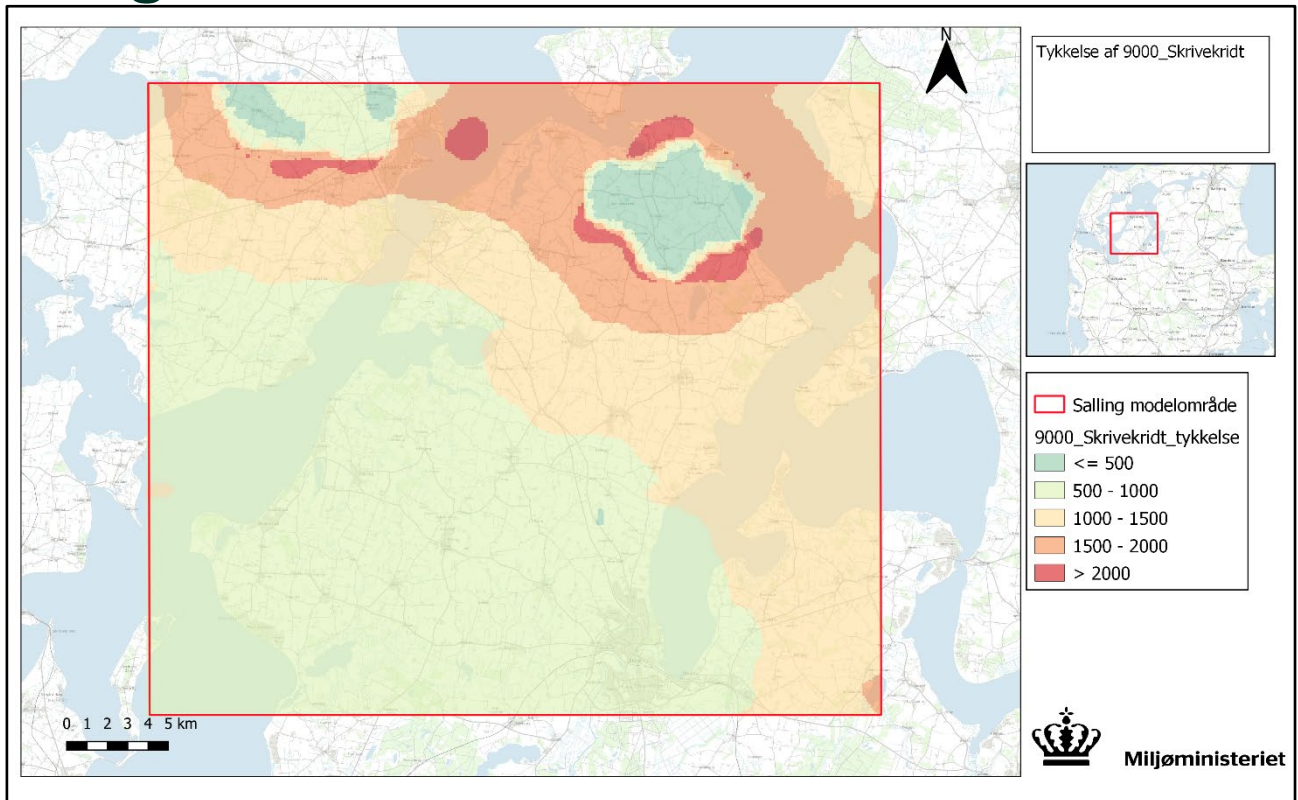
Bilag 15



Bilag 16



Bilag 17



Geologisk kortlægning af Salling og dele af Mors

Geologisk kortlægning af Salling og dele af Mors udført i 2020/2021. Kortlægningen danner grundlag for en opdateret grundvandsmodel.



Miljøstyrelsen
Tolderlundsvej 5
5000 Odense C

www.mst.dk