



Vandsam – Udvidelse af indvindingstilladelse

tTEM kortlægning ved Løvenholm Skov

Vandsam A/S

Dato: 30. januar 2023

Indhold

1.	Indledning.....	3
1.1	tTEM systemets opsætning	4
2.	tTEM-kortlægningen	5
2.1	Modstandsniveauer	5
2.2	Støjklider.....	5
2.3	Feltarbejde og målinger	6
3.	Databehandling og geofysisk modellering	7
3.1	Kvalitetssikring	7
4.	Resultater	8
4.1	Middelmodstandskort	8
4.2	Profilsnit og borerer	11
1.	Konklusion.....	15
2.	Referencer.....	16

Bilag 1 Oversigt over målte data

Bilag 2 Antal datapunkter

Bilag 3 Dataresidual

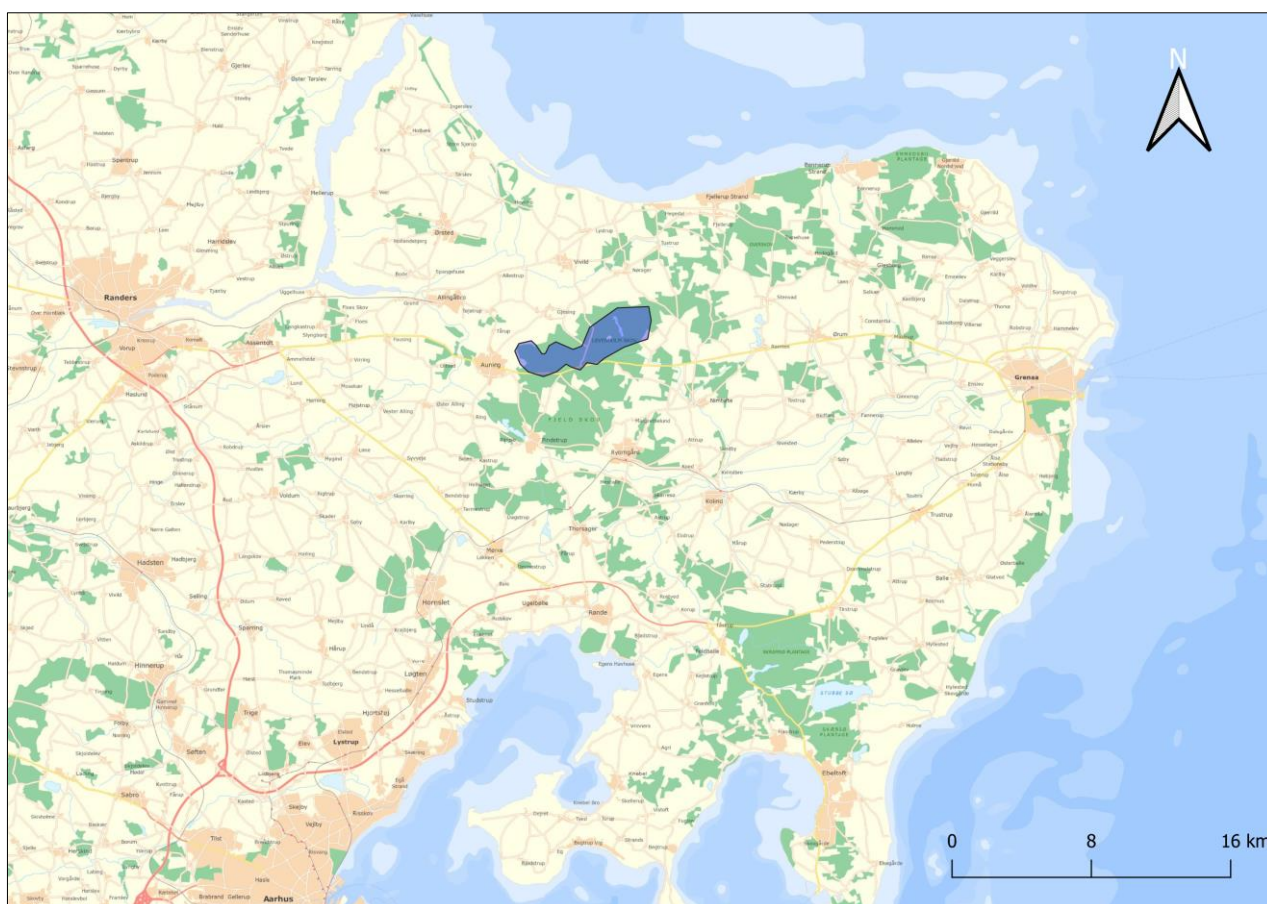
Bilag 4 Indtrængningsdybde (DOI)

Bilag 5.1-4 Middelmodstand i 0-120 m dybde

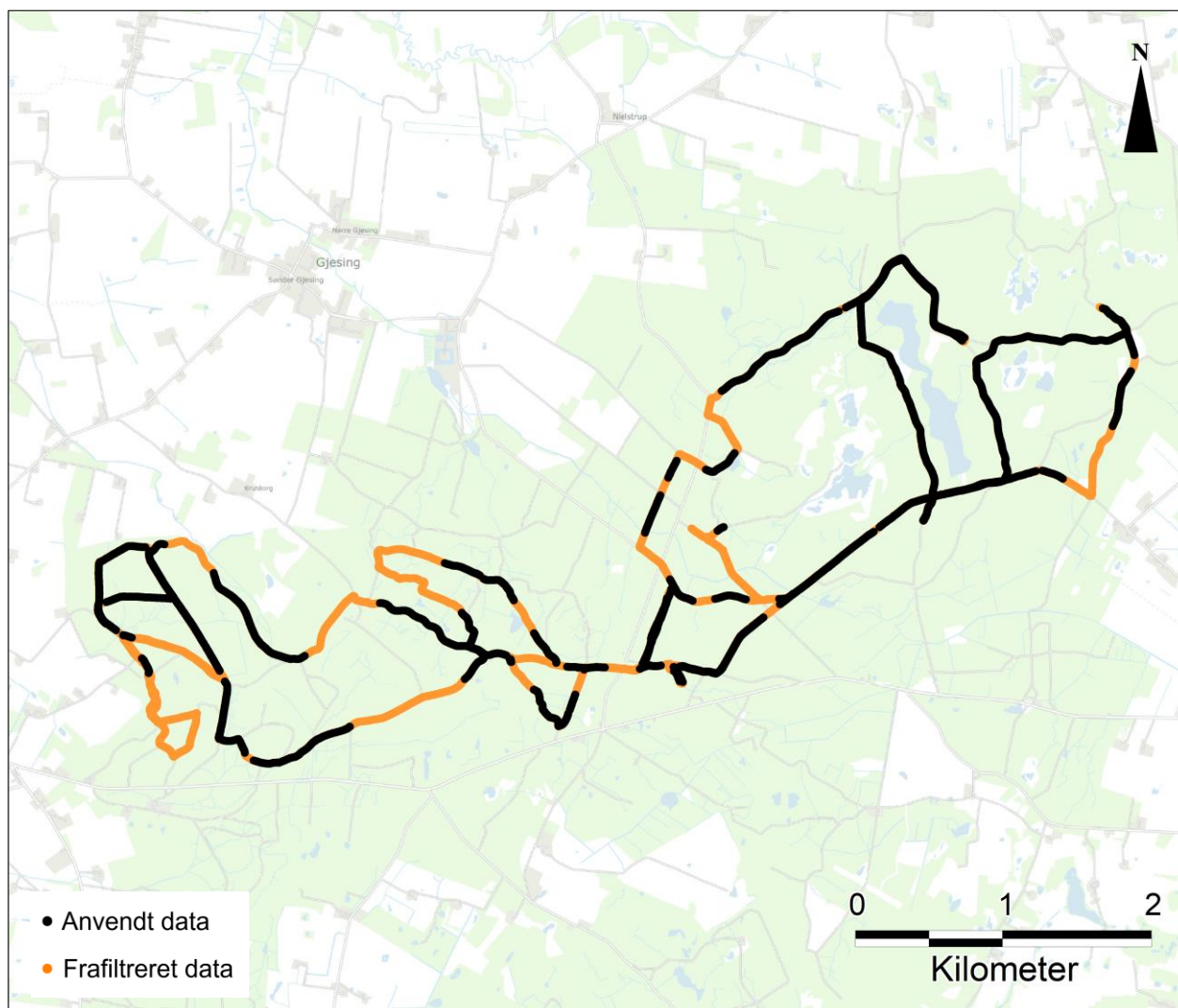
1. Indledning

NIRAS har udført en geofysisk kortlægning med tTEM i området omkring Løvenholm, nær Auning, for Vandsam (Figur 1.1) i forbindelse med ansøgning om udvidelse af indvindingstilladelse. Vandsamt ønsker at få kortlagt lerlag som beskytter grundvandet. Med tTEM udstyret kortlægges den elektriske ledningsevne ned til ca. 80 meter under terræn. Herudfra kan der, ved sammenhold med nærliggende borer, udledes viden om jordlagene. Figur 1.2 samt Bilag 1 viser kortlægningsområdet samt placeringen af de indsamlede data. Målelinjerne er placeret langs etablerede stier i Løvenholm skov. Feltarbejdet er udført den 15. december 2021.

Dataindsamling og -behandling er udført i overensstemmelse med den gældende vejledning fra HydroGeofysikGruppen (HGG) /1/.



Figur 1.1 Oversigt over placeringen af det kortlagte område øst for Auning på Djursland, angivet med blå polygon.

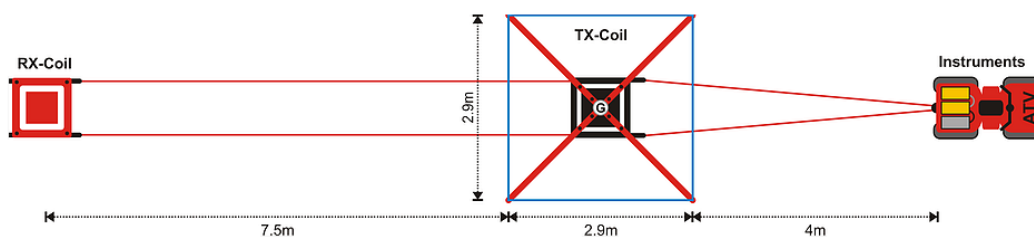


Figur 1.2 Indsamlede tTEM data ved Løvenholm skov, samt markering af hvor der er indsamlet data og hvor der er tolkede sonderinger.

1.1 tTEM systemets opsætning

tTEM udstyret anvender den transiente elektromagnetiske metode (TEM) og måler de elektriske modstandsvariationer ned til ca. 80 m dybde, med den højeste opløsning i de øverste 30 m dybde. Instrumentet måler kontinuert, mens det trækkes hen over jordoverfladen. Der anvendes en off-set loop opsætning, hvor modtagerspølen (Rx) er placeret ca. 7 meter bag senderspølen (Tx), som har en afstand på ca. 4 meter til ATV'en som trækker udstyret, se Figur 3.1. Sender-spølen er ophængt på en separat ramme monteret på en slæde, og har en dimension på 3x3 m. En GPS er placeret på rammen for at indmåle placeringen af de indsamlede data. Modtagerspølen er horisontal og måler z-komponenten af de magnetiske felter. Den er placeret på en lille slæde, og er ophængt for at undgå bevægelsesinduceret støj.

Der er målt med enhederne TX32, RC20-14 og TiB 28, lejet fra Aarhus GeoInstruments (AGI).



Figur 3.1 tTEM konfigurationen. Yderst til venstre befinder modtagerspolen (Rx) sig. Mellem denne og ATV'en findes senderspolen (Tx).
Kilde: Aarhus GeolInstruments (AGI).

2. tTEM-kortlægningen

2.1 Modstandsniveauer

Aflejninger med ler, tørv, dynd, gytje og salt grundvand vil give lave modstande (god elektrisk leder), mens sand/grus/sten samt kalk med fersk grundvand vil give høje modstande, se Figur 2.1. Jordlagenes vandindhold har stor betydning for modstandsniveauet. Tørre lag af såvel sand som ler vil have en højere modstand end vandmættede lag.

Jordarter	Elektrisk modstand
Tørt kvartært sand og grus	> 200 Ohmm
Kvartært sand og grus	60-200 Ohmm
Kvartært smeltevandssilt	50-80 Ohmm
Kalk og kridt	90-500 Ohmm
Moræneler	20-60 Ohmm
Fed tertiært ler	< 20 Ohmm
Marint dynd, gytje og ler	1-15 Ohmm
Ferskvandstørv, -dynd, -gytje og -ler	10-35 Ohmm

Figur 2.1: Elektriske modstande for bestemte jordarter, baseret på /2/ og /3/.

Af Figur 2.1 fremgår det, at det ikke er muligt at bestemme den geologiske lagserie alene på baggrund af den elektriske modstand, da der er et overlap mellem modstandene af de forskellige materialer. Det er således nødvendigt at sammenholde kendte geologiske oplysninger med de målte modstande for at tolke de geofysiske resultater geologisk.

2.2 Støjklider

Elektromagnetiske målinger, som indsamles med tTEM udstyret forstyrres, hvis der findes metalliske genstande i jorden, elektriske installationer tæt på målelokaliteten, tordenvejr mv. Den nødvendige afstand til elektriske installationer, for at undgå påvirkning, vil dog afhænge af modstanden i de øvre jordlag samt dybden til den gode leder. Der er ikke indhentet ledningsoplysninger for det aktuelle kortlægningsområde, da støj fra ledninger vil fremgå meget tydeligt af de målte data, som derefter frafiltreres. Generelt er ledninger placeret langs veje, men der kan også forekomme ledninger

på tværs af matrikler. I dette område er data primært støjpåvirkede langs de større veje, samt af kabler der går langs stierne, men kan også være koblede pga. hegn på terræn langs stierne.

2.3 Feltarbejde og målinger

Feltarbejdet er udført den 15. december 2021. Data er indsamlet i de eksisterende skovstier, da det ikke er muligt at køre imellem træerne. Der er kørt med en hastighed på ca. 15 km/t.

Den endelige placering af de kørte linjer fremgår af Figur 1.2 og Bilag 1.1.

3. Databehandling og geofysisk modellering

Data er indledningsvist processeret for at frafiltrere støjpåvirkede data. Antallet af datapunkter i hver sondering fremgår af Bilag 2. Områder med færrest datapunkter ses primært før og efter steder hvor der er fjernet data pga. koblinger, fx ved vendinger hvor ATV'en er tæt på måleudstyret. Filtreringen foregår i tTEM modulet i programmet *Aarhus Workbench*. Data filtreres først automatisk og derefter manuelt. Efter den manuelle gennemgang af data er der tolket en smooth 1D 30 lags model med inversionsmetoden LCI (Laterally Constrained Inversion). Modelleringen resulterer i en 1D model af jordens modstandsvariation i hver enkelt sondering. Sonderingerne ligger med en indbyrdes afstand på ca. 10 m. Hvert lag i modellen er beskrevet ved en fast tykkelse og en specifik elektrisk modstand. Tolkingsprogrammet finder den bedste model ved at justere modelparameteren (den elektriske modstand), beregne modellens tTEM-respons og sammenligne dette med de målte data. Den bedste model bestemmes ved at minimere forskellen mellem de målte data og de beregnede data. Resultatet er vurderet og data er re-processeret de steder, hvor tilpasningen har været dårlig, eller der var støjede data som ikke var blevet fjernet i første omgang. Herefter er data tolket igen. Denne proces med re-processering og tolkning er gentaget indtil der er opnået et tilfredsstillende resultat. Slutteligt er data tolket med en 1D 30 lags SCI model både med modeltypen smooth og sharp. De to resultater er overordnet rimelig ens, men smooth inversionen tilpasser de målte data lidt bedre end sharp inversionen.

Af Bilag 3 fremgår dataresidualet for hver sondering, som angiver hvor godt modellen tilpasser de målte data (jo lavere residual, jo bedre tilpasning) en værdi på 1 er svarende til at modellen tilpasser data inden for usikkerheden. Tilpasningen vurderes at være god når dataresidualet er mindre end 1. Dette er tilfældet for størstedelen af sonderingerne. Bilag 4 viser indtrængningsdybden, DOI (Depth Of Investigation), som er et mål for hvor dybt, der er information fra data til modellen /4/. Der er anvendt standard beregnet DOI og der er ikke tolket middelmstand under DOI. I de efterfølgende producerede profiler er værdier under DOI tematiseret med nedtonede farver.

3.1 Kvalitetssikring

Under dataindsamlingen i felten er flere parametre løbende vurderet, herunder umiddelbar resistivitet, GPS signal, sensorstrøm og -temperatur. Udstyret er desuden konfigureret så der gives en alarm såfremt der opstår irregulariteter.

Under processeringen i Aarhus Workbench er kvaliteten af data vurderet, og støjede data er fjernet. Dette sker under en iterativ proces, hvor støjpåvirkede data indledende fjernes automatisk og manuelt, hvorefter der foretages en inversion. Inversionsresultatet vurderes ud fra dataresidual, DOI og antal data. Desuden produceres der middelmstandskort som kontrolleres for usandsynlige strukturer, og sammenholdes med den kendte infrastruktur, i dette tilfælde vejene indenfor kortlægningsområdet. Endvidere optegnes der profilsnit hvor de resulterende modeller sammenholdes med nærliggende borer. På baggrund af denne vurdering af inversionen kan der udpeges områder hvor data skal gennemses igen. Såfremt der fjernes yderligere data, foretages en ny inversion som igen vurderes.

4. Resultater

Modellerne er præsenteret i middelmødstandskort (Figur 4.1 og bilag 5.1-4) og på profiler (Figur 4.3 til Figur 4.6).

4.1 Middelmødstandskort

Nær terræn er der produceret middelmødstandskort i dybdeintervallerne 0-2 og 2-5 m, mens der herunder er anvendt 5 m intervaller fra 5-30 m dybde og 10 m intervaller fra 30-120 m dybde (Bilag 5.1-4). Middelmødstandskortene er desuden afbilledet på Figur 4.1. Middelmødstande under standard DOI er ikke vist. Middelmødstanden er den gennemsnitlige mødstand i det aktuelle dybdeinterval.

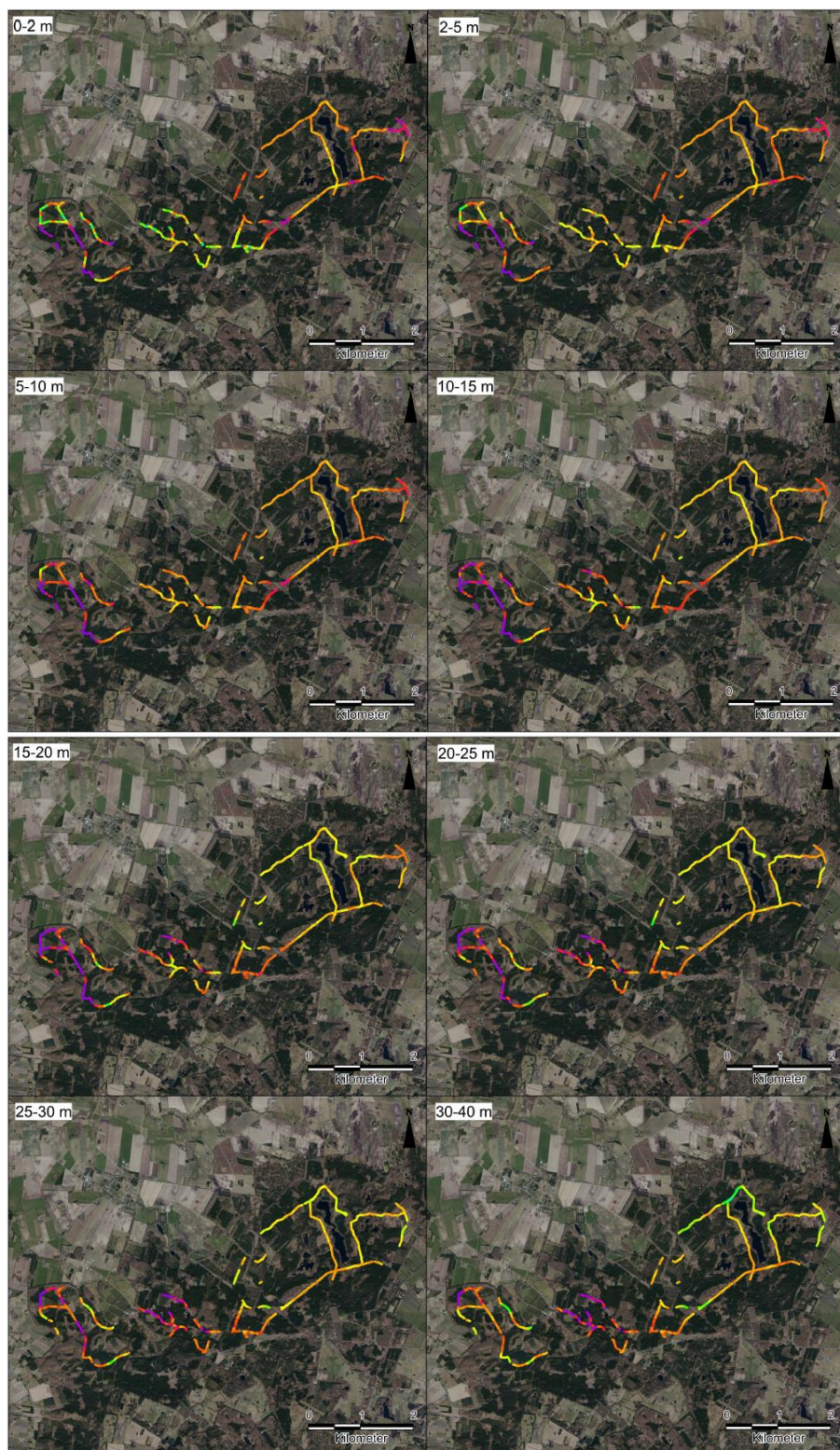
Nærmest terræn (0-2 m dybde) ses mødstande svarende til sand (gule og røde farver til lyserøde og lilla farver) i en stor del af det kortlagte område. Mod øst ses et område med udelukkende røde og lilla mødstande svarende til aflejringer domineret af sand og/eller grus. I den centrale og nordvestlige del af det kortlagte område ses lavere mødstande (<60 Ohmm), svarende til lerdominerede aflejringer.

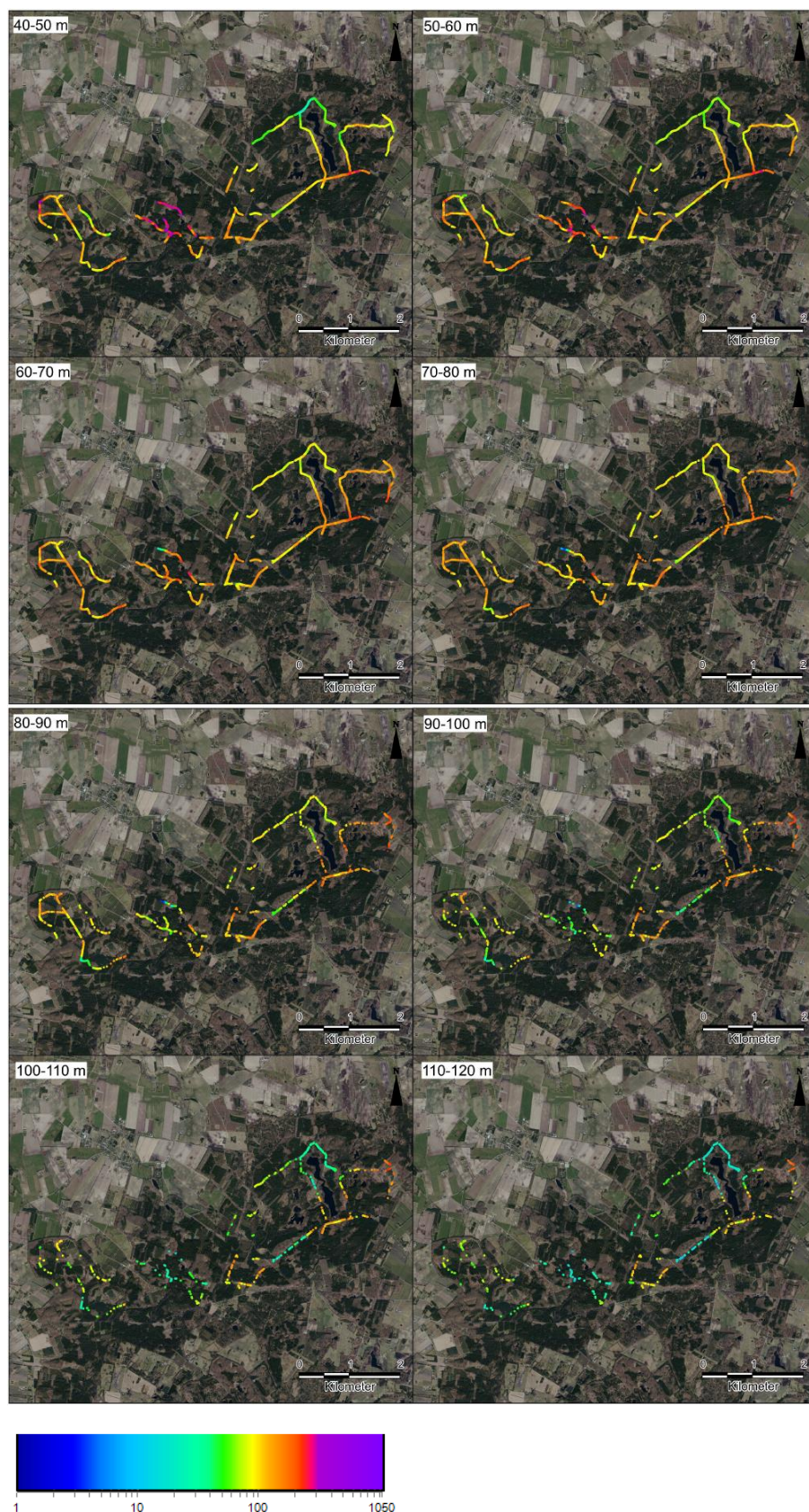
I 2-15 m dybde er antallet og udbredelsen af højmødstandsområderne stadig væsentligt, og ses i stort set hele området. Her fortsætter højmødstandslaget ned til 25-30 m dybde. Den østlige del af området har dog generelt en anelse lavere mødstande end resten området.

Fra 30-40 m dybde og ned ses der lavere mødstande enkelte steder, især i den østlige del af området, og stedvist i den vestlige del af området.

Fra 40-90 m dybde ses der stadig større områder med høje mødstande i kortlægningsområdet, mens det største sammenhængende område med lavere mødstande ses i den nordlige del af det kortlagte område.

Fra 90-120 m falder mødstanden generelt til lavere niveau, og samtidigt nås bunden af del af modellerne.

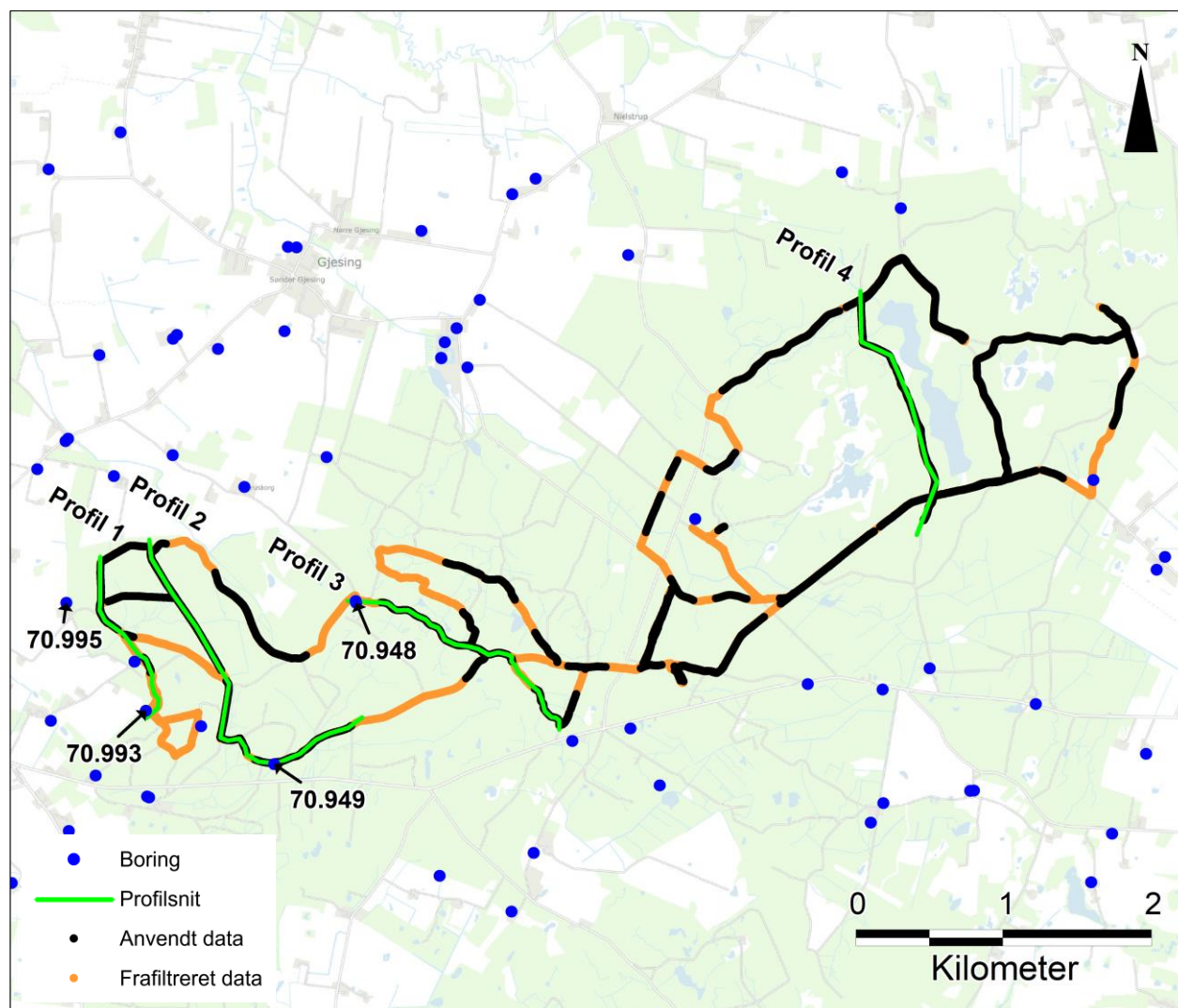




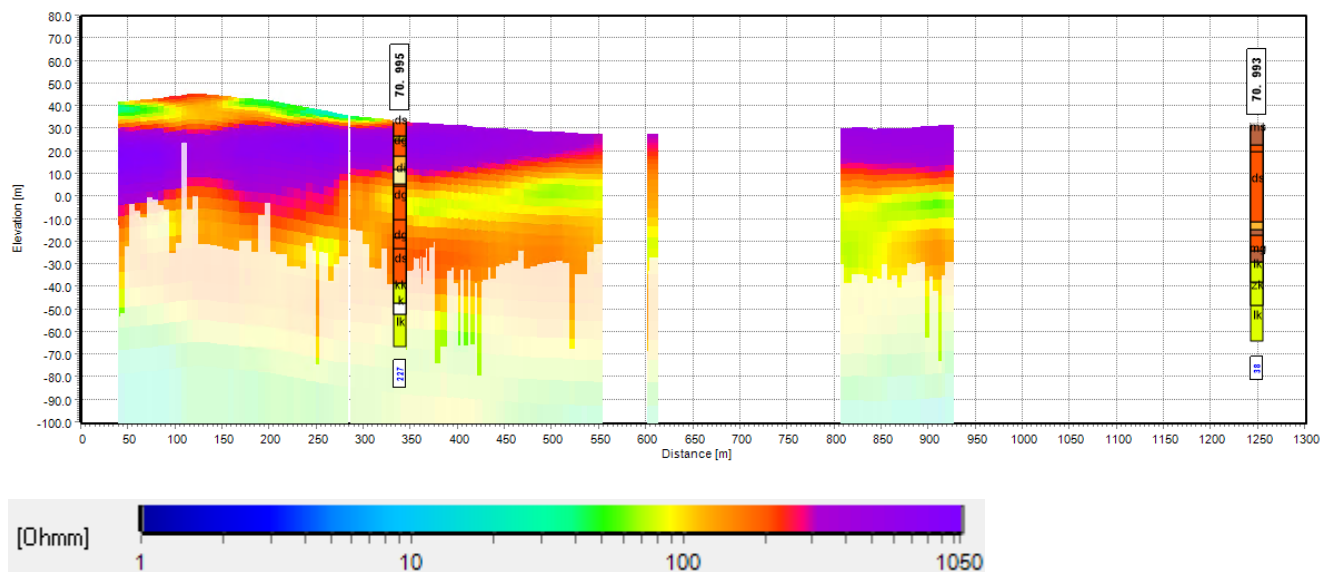
Figur 4.1: Middelmodstand i 0-120 m dybde. Middelmodstande under den standard beregnede indtrængningsdybde (DOI) er ikke vist, derfor er der færre datapunkter med stigende dybde.

4.2 Profilsnit og borer

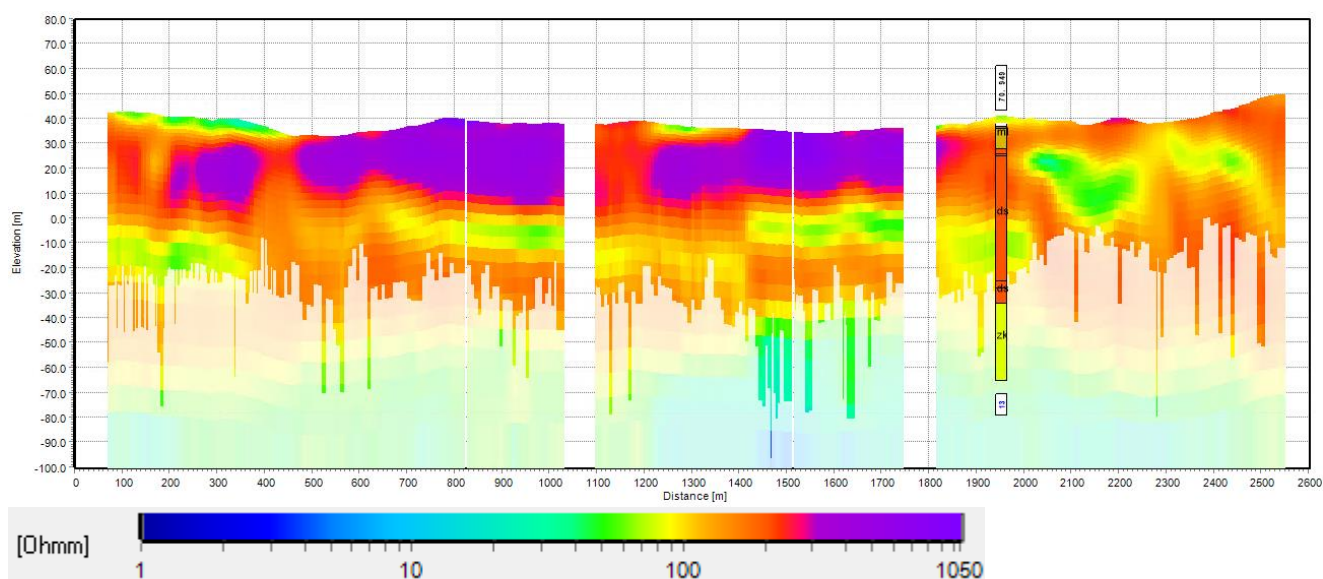
For at opnå et bedre overblik over modstandsvariationerne og de tilsyneladende strukturer i området, er der optegnet 4 profilsnit, hvorpå 1D modellerne er vist. Standard beregnet DOI er angivet med nedtonede farver på sonderingerne. Profilerne placering er vist på Figur 4.2. Den generelle orientering af profilerne er fra vest mod øst og nord mod syd. Nærliggende borer fra GEUS' boringsdatabase, Jupiter, er vist på profilerne, samt på kortet herunder. De 4 profiler er vist i Figur 4.3 til Figur 4.6.



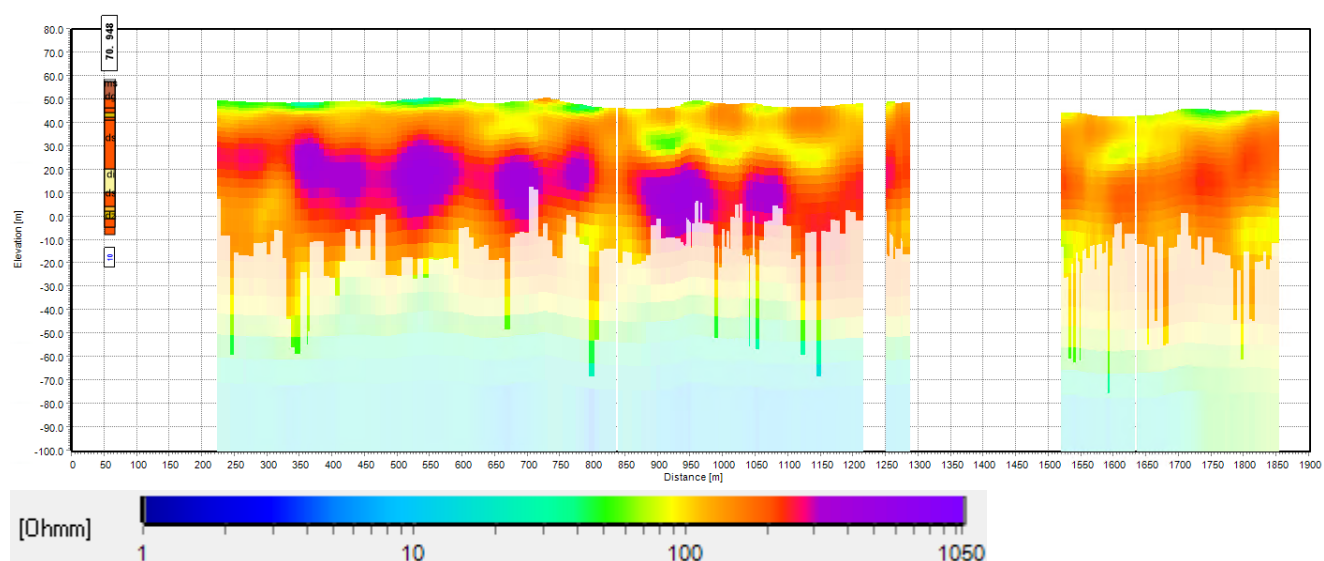
Figur 4.2 Kortlægningssområdet med placering af profilsnit (grønne linjer) og angivelse af anvendte og frafiltrerede data. Blå prikker angiver borer fra GEUS' boringsdatabase Jupiter, med en dybde over 10 m



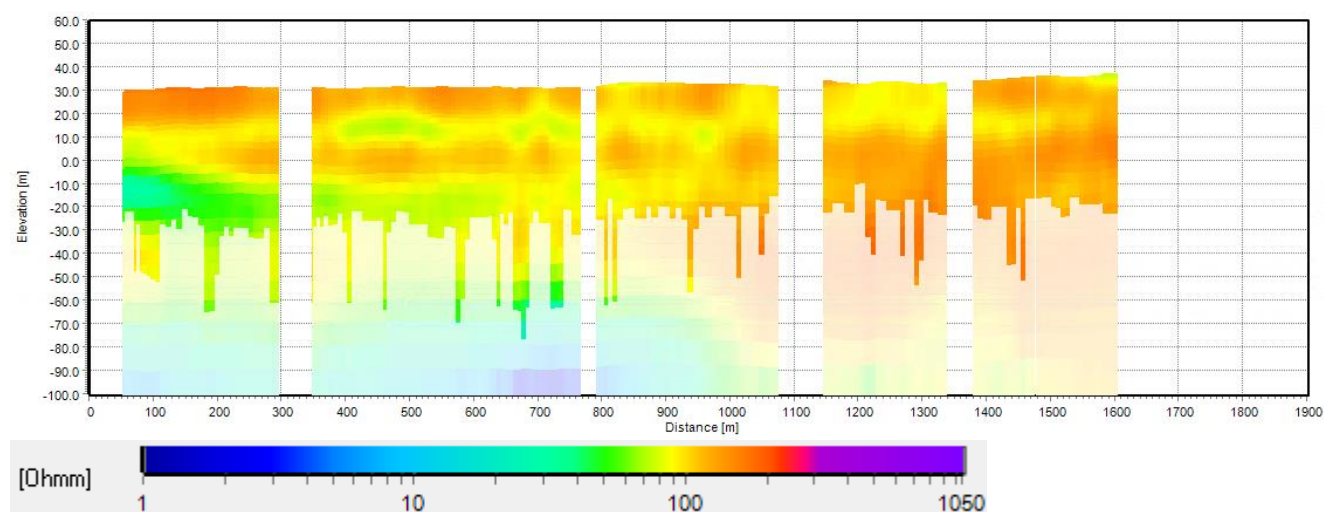
Figur 4.3 Profil 1, N-S. På figuren ses boringerne med DGU nummer 70.995 og 70.993.



Figur 4.4 Profil 2, N-S. På figuren ses boringen med DGU nummer 70.949.



Figur 4.5 Profil 3, NV-SØ. På figuren ses boringen med DGU nummer 70.948.



Figur 4.6 Profil 4, N-S. Der er ingen boringer nær profilet.

Der findes enkelte dybere borer fra området, som er sammenholdt med den geofysiske kortlægning. I den vestlige del af kortlægningsområdet ligger DGU nr. 70.993 og 70.995 som er aktive vandværksboringer tæt på profil 1 (Figur 4.3). Nær profil 2 ligger DGU nr. 70.949 som er en undersøgelses/videnskabelig boring, som er vist på profil 2 (Figur 4.4). Slutteligt ligger DGU nr. 70.948 som er en vandforsyningsboring langs profil 3 (Figur 4.5).

I de dybe borer i den vestlige del af kortlægningsområdet, DGU nr. 70.993 og 70.995, ses den kalk som der i dag indvindes vand fra. I borerne DGU nr. 70.949, 70.993 og 70.995 er kalken blevet fundet imellem et dybdeinterval på 61-72 m.

I boring 70.995 som ligger ca. 230 m øst for profil 1, ses der en god korrelation mellem den geologiske beskrivelse fra boringen og geofysikken, med smeltevandssand og -grus nær terræn, efterfulgt af smeltevandsler og -silt, herunder smeltevandssand og -grus, samt kalk i bunden af boringen. Dette stemmer godt overens med geofysikken, hvor der fra terræn og ca. 20-25 m ned er målt høje modstande, efterfulgt af et lavmodstandslag på ca. 10 m tykkelse og herunder igen høje modstande.

Af profilerne og middelmodstandskort fremgår det, at der i den vestlige del af kortlægningsområdet indenfor de øverste ca. 30-55 m under terræn findes flere højmodstandsstrukturer. Disse tolkes som smeltevandssand og grus og/eller morænesand baseret på oplysningerne i de nærliggende borer. Under disse ses der et lag med en lavere middelmodstand, som tolkes til at være et lerlag, som ikke alle steder er godt opløst i geofysikken, grundet dybden til laget og dets tykkelse som nogle steder er nede på 3-5 m, jf. boringsbeskrivelserne.

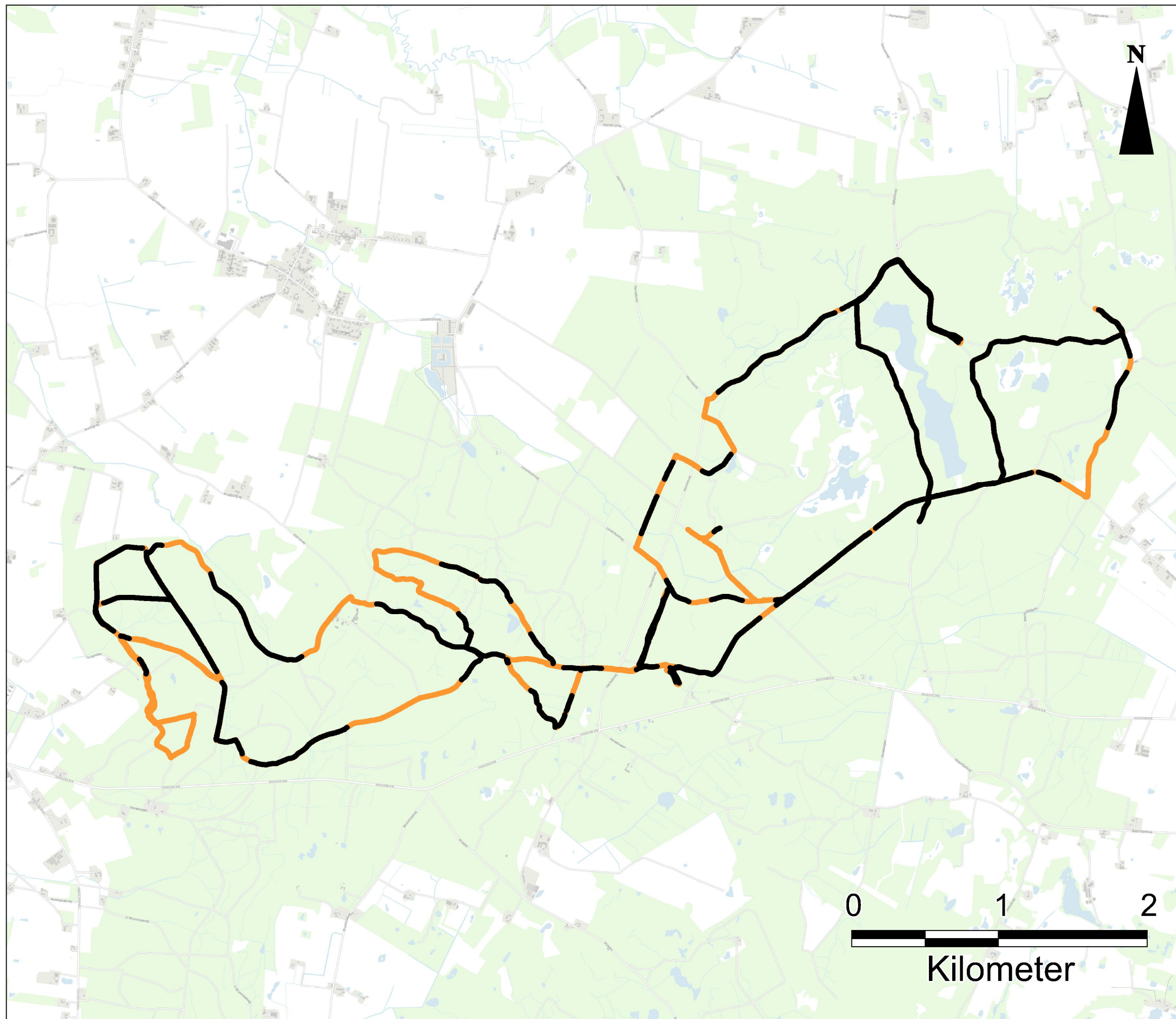
1. **Konklusion**

Der er d. 15. december 2021 udført geofysisk kortlægning med tTEM i Løvenholm Skov nær Auning, langs større stier og veje i skoven. Data er processeret og tolket, og resultaterne er præsenteret vha. middelmodstandskort og profil-snit.

Resultaterne er sammenholdt med nærtliggende borer, og der er identificeret høj- og lavmodstandslag som korrelerer til lag af hhv. smeltevandssand og -grus, og smeltevandssilt og -ler.

2. Referencer

- /1/ HydroGeophysicsGroup – HGG – Aarhus University, Guideline and standards for tTEM data collection, processing, and inversion, Version 1.1 – November 2020.
- /2/ GeoFysikSamarbejdet 2003: Anvendelse af TEM-metoden ved geologisk kortlægning. GeoFysikSamarbejdet. Aarhus Universitet.
- /3/ Jørgensen, F., Sandersen, P.B.E og Auken E. 2003b: Imaging Buried Valleys using the Transient Electromagnetic Method. Journal of Applied Geophysics 53, 199-213.
- /4/ Vest Christiansen, Anders et al., A global measure for depth of investigation, Geophysics (2012), 77(4): WB171



Legende:

- Anvendt data
- Frafiltreret data

Dato for feltarbejde: 15. december 2021
Model: 30 lag smooth SCI

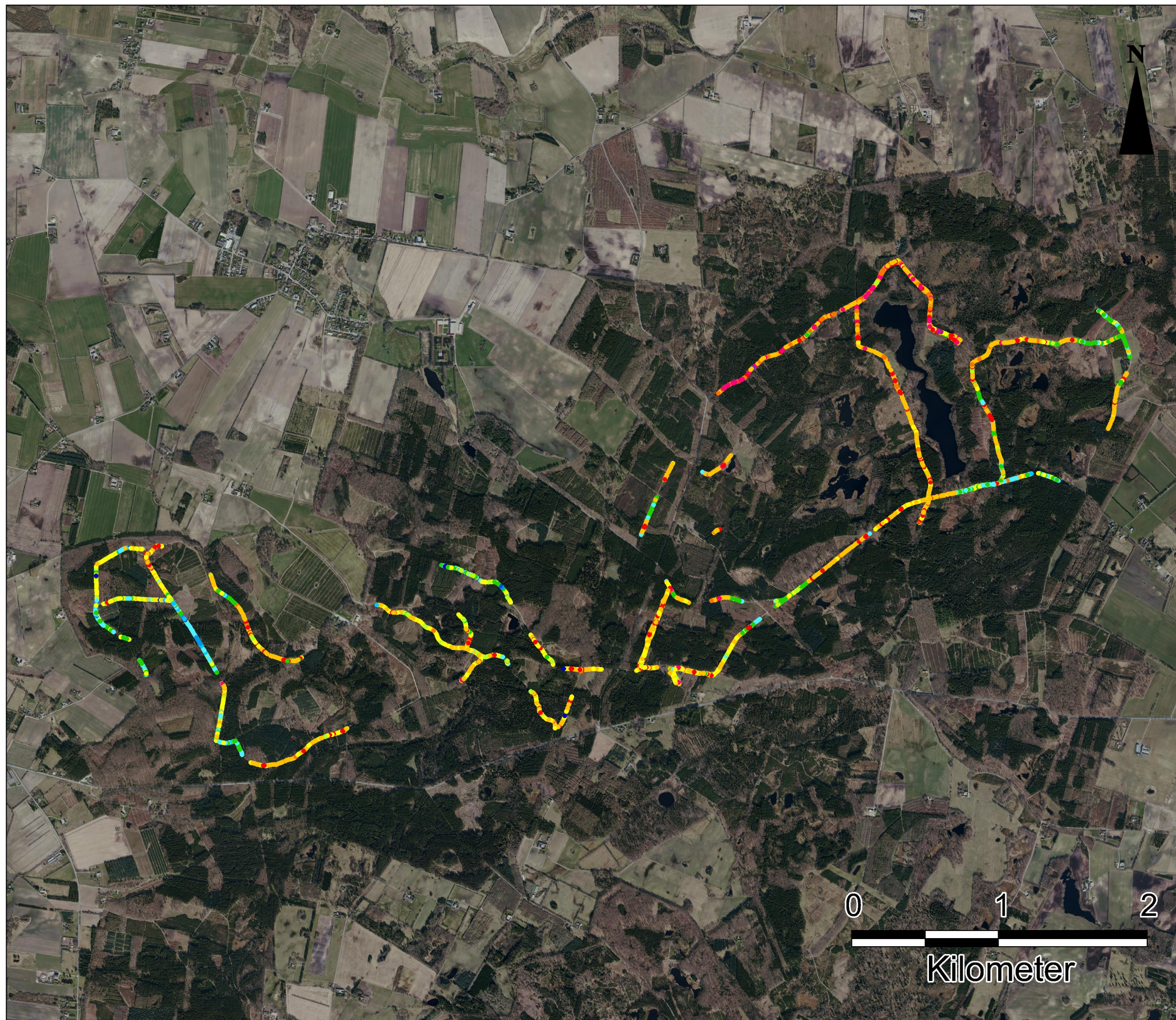
Bilag 1

**tTEM Løvenholm Skov
Oversigt over målte data**

Rev.: a
Dato: 25-01-2023
Udarb.: KIAG
Kontrol: ADSB
SagsNr.: 1030522

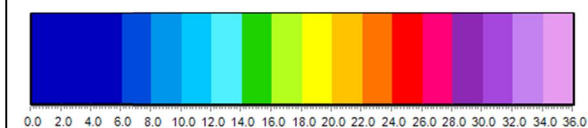
NIRAS
Ceres Allé 3
8000 Aarhus C

www.niras.dk



Legende:

Antal datapunkter pr. sondering:



Dato for feltarbejde: 15. december 2021
Model: 30 lag smooth SCI

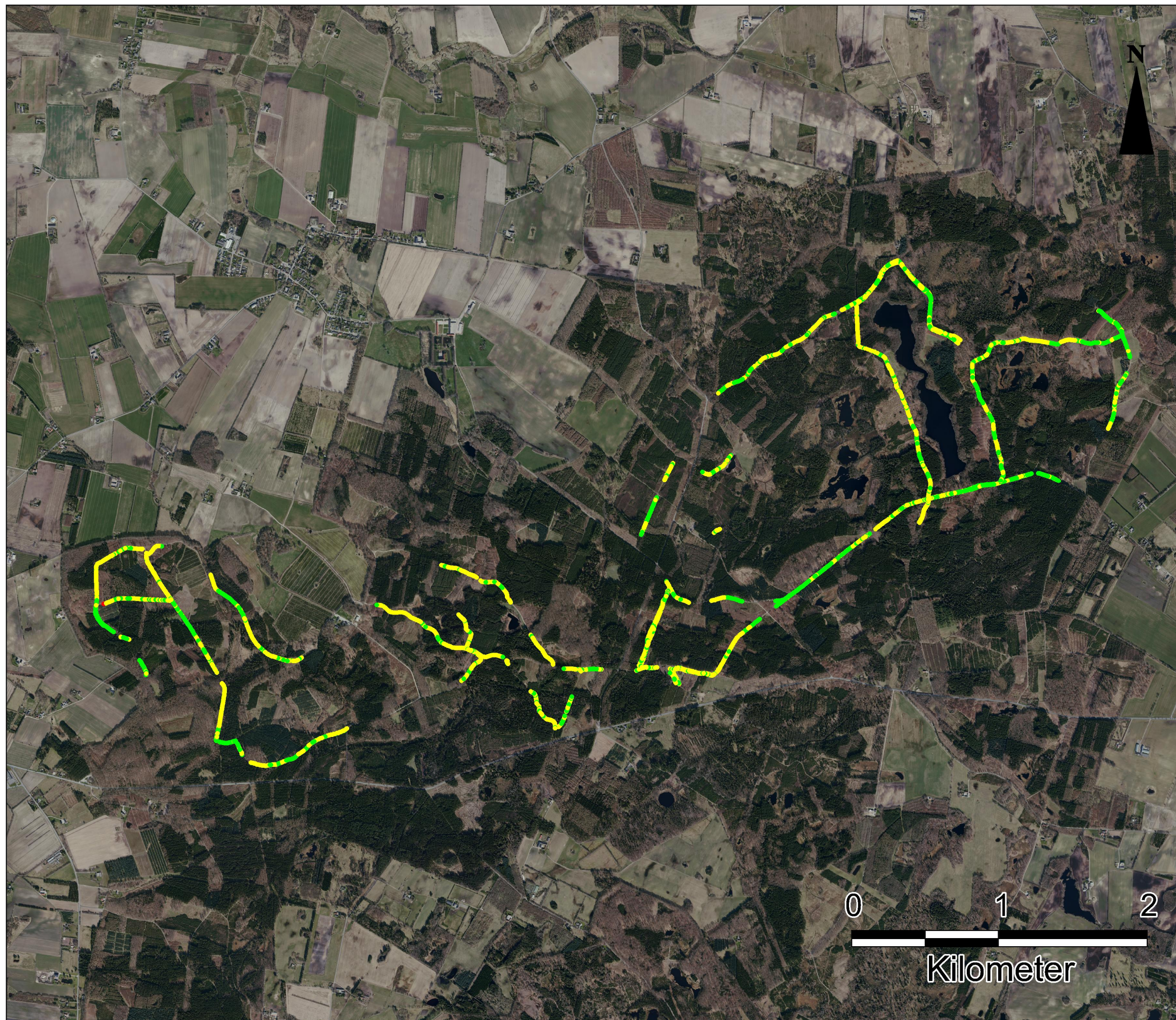
Bilag 2

tTEM Løvenholm Skov Antal datapunkter pr. sondering

Rev.: a
Dato: 25-01-2023
Udarb.: KIAG
Kontrol: ADSB
SagsNr.: 1030522

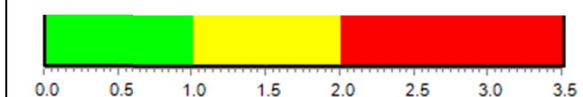
NIRAS
Ceres Allé 3
8000 Aarhus C

www.niras.dk



Legende:

Dataresidual:



Dato for feltarbejde: 15. december 2021
Model: 30 lag smooth SCI

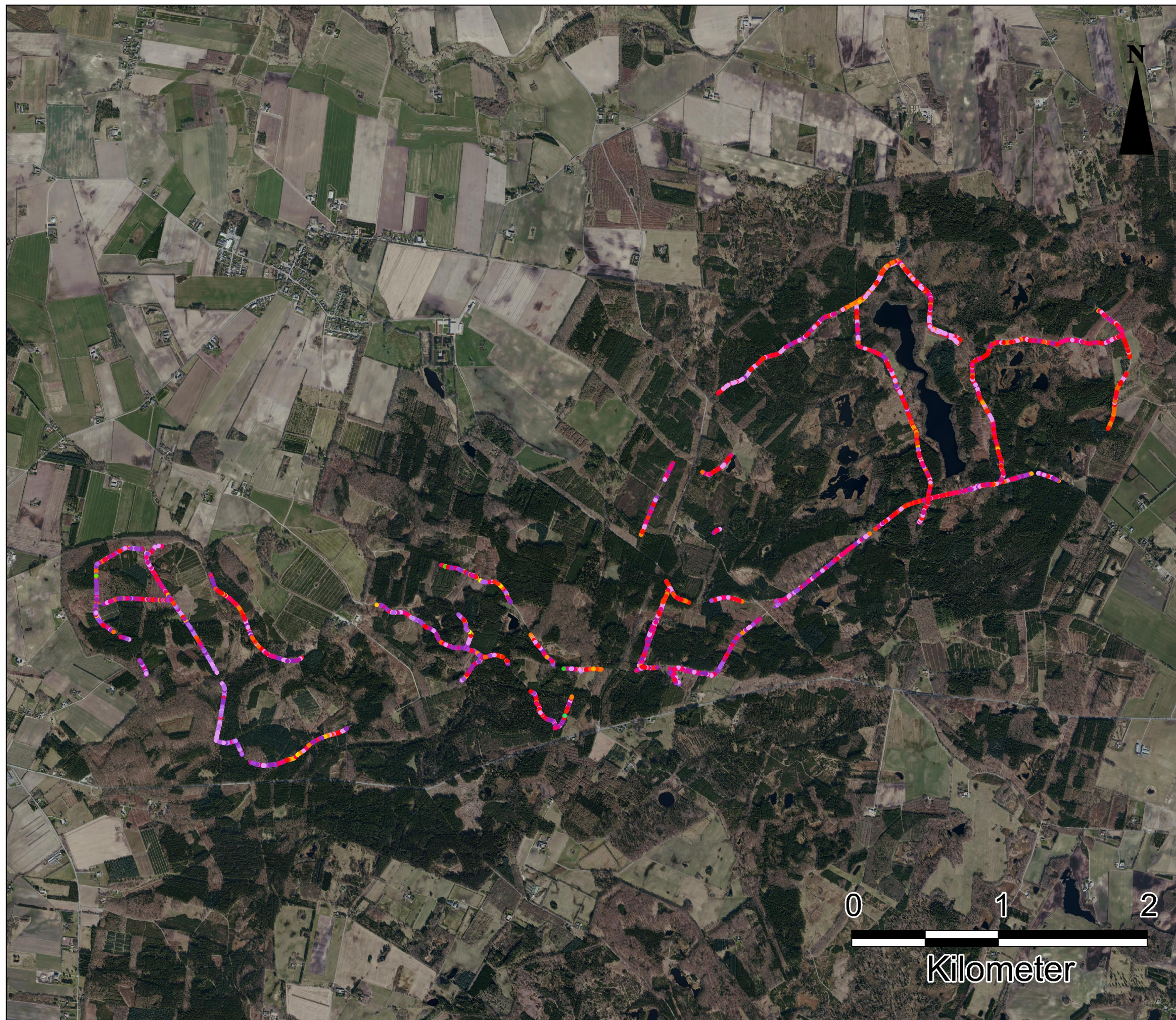
Bilag 3

tTEM Løvenholm Skov Dataresidual

Rev.: a
Dato: 25-01-2023
Udarb.: KIAG
Kontrol: ADSB
SagsNr.: 1030522

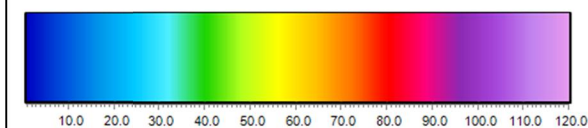
NIRAS
Ceres Allé 3
8000 Aarhus C

www.niras.dk



Legende:

Indtrængningsdybde [m]:



Dato for feltarbejde: 15. december 2021
Model: 30 lag smooth SCI

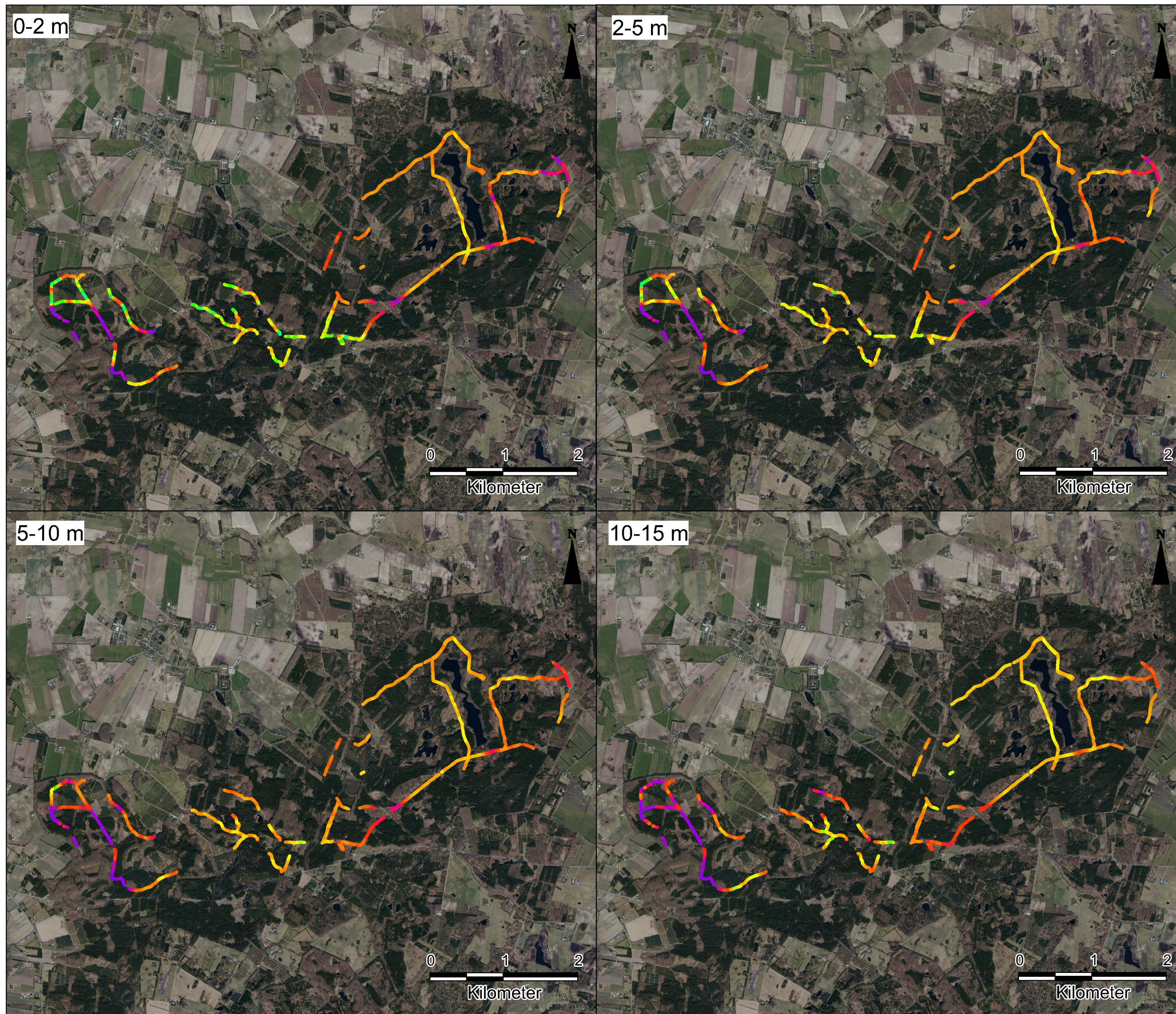
Bilag 4

tTEM Løvenholm Skov Indtrængningsdybde (DOI)

Rev.: a
Dato: 25-01-2023
Udarb.: KIAG
Kontrol: ADSB
SagsNr.: 1030522

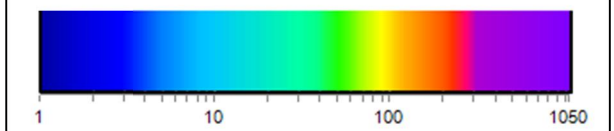
NIRAS
Ceres Allé 3
8000 Aarhus C

www.niras.dk



Legende:

Middelmodstand [Ohmm]:



Dato for feltarbejde: 15. december 2021
Model: 30 lag smooth SCI

Bilag 5.1

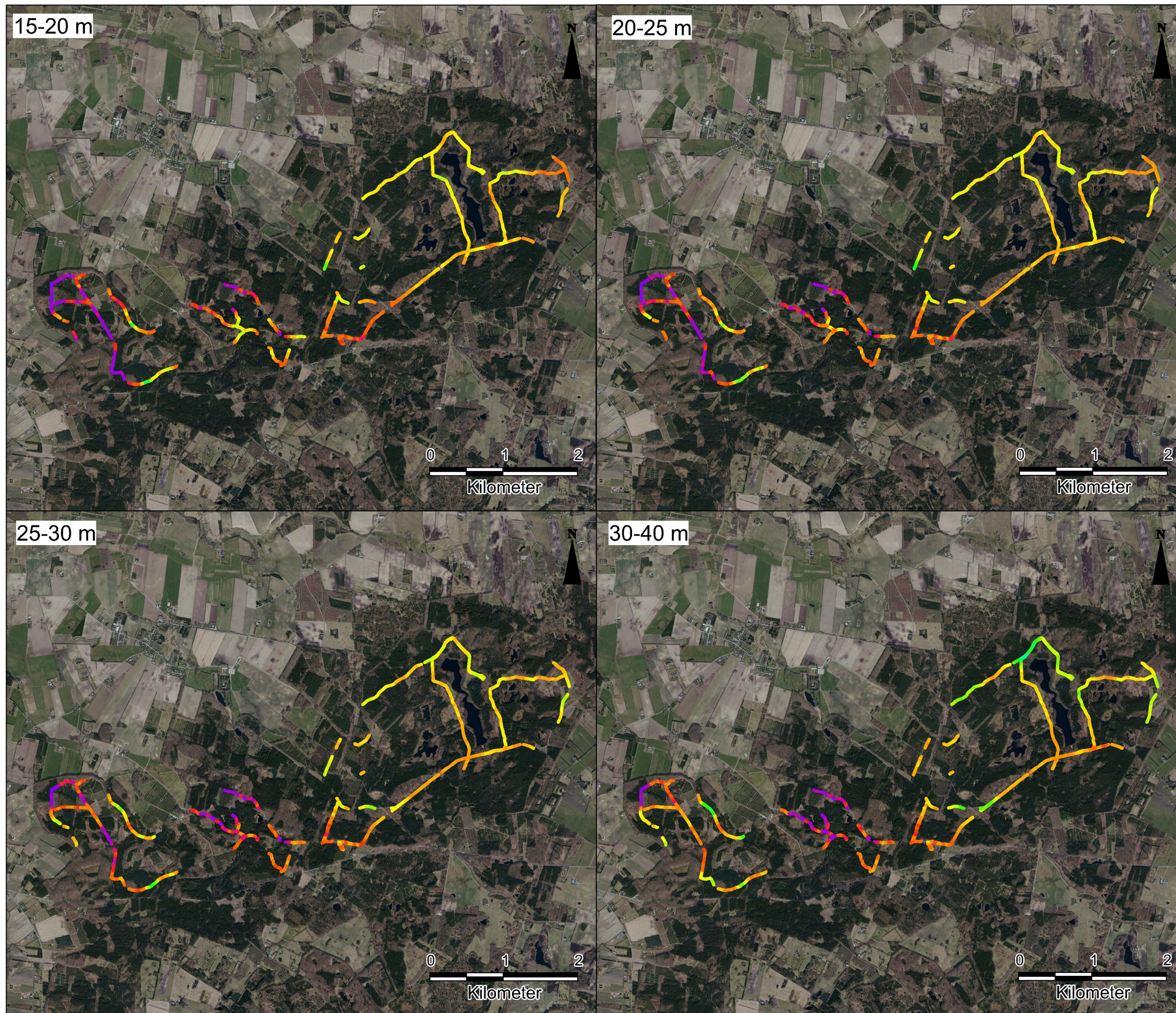
tTEM Løvenholm Skov
Middelmodstand i 0-15 m
dybde

Rev.: a
Dato: 25-01-2023
Udarb.: KIAG
Kontrol: ADSB
SagsNr.: 1030522

NIRAS

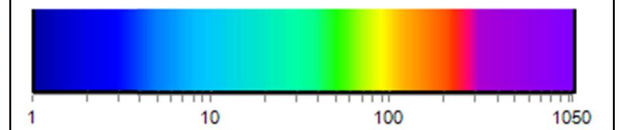
Ceres Allé 3
8000 Aarhus C

www.niras.dk



Legende:

Middelmodstand [Ohmm]:



Dato for feltarbejde: 15. december 2021
Model: 30 lag smooth SCI

Bilag 5.2

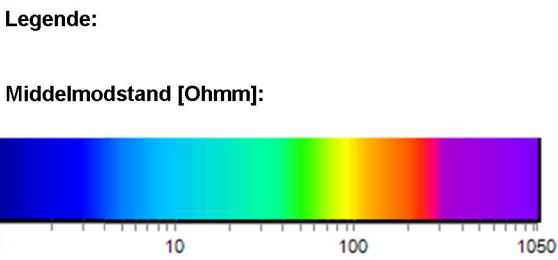
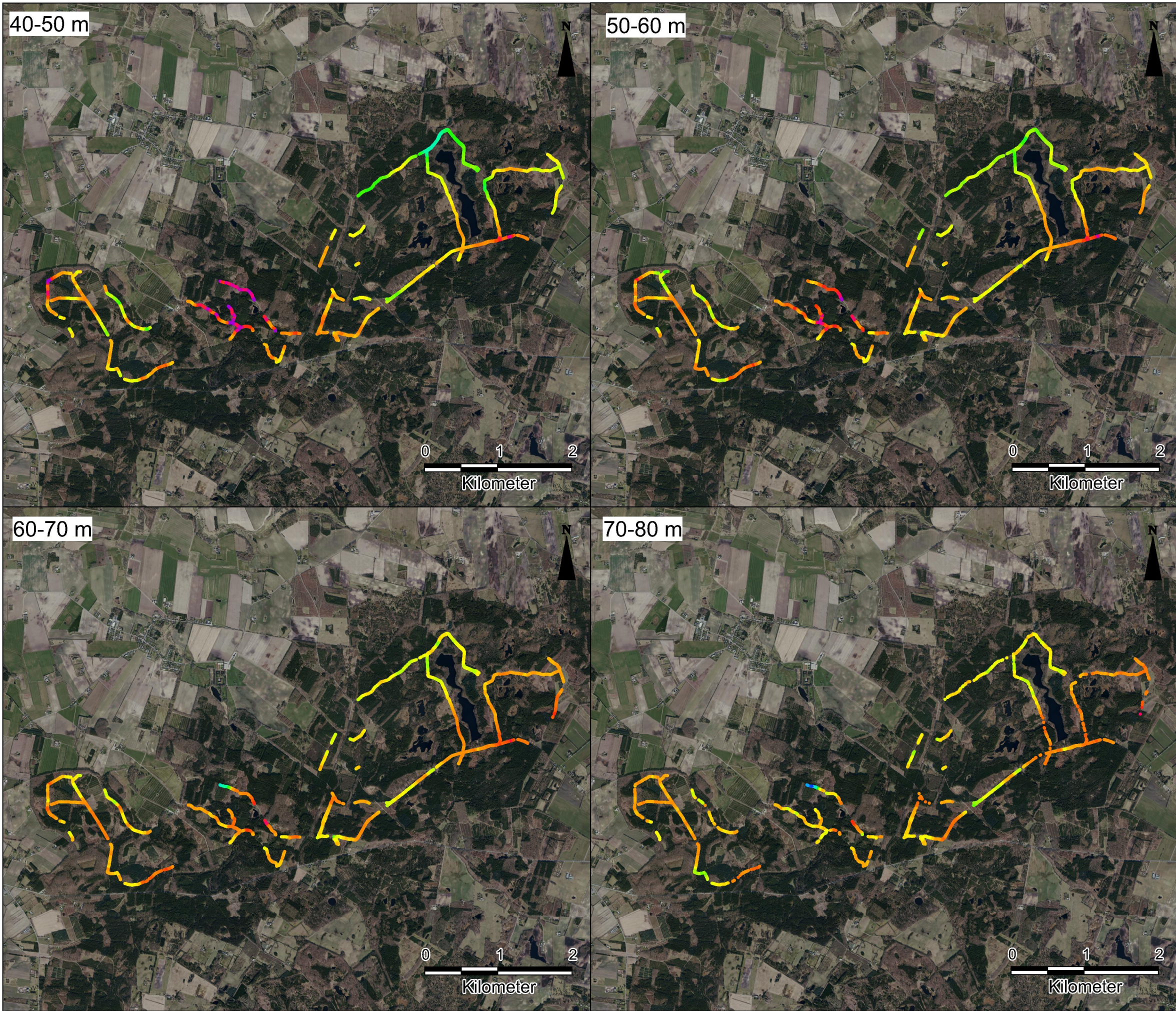
tTEM Løvenholm Skov Middelmodstand i 15-40 m dybde

Rev.: a
Dato: 25-01-2023
Udarb.: KIAG
Kontrol: ADSB
SagsNr.: 1030522

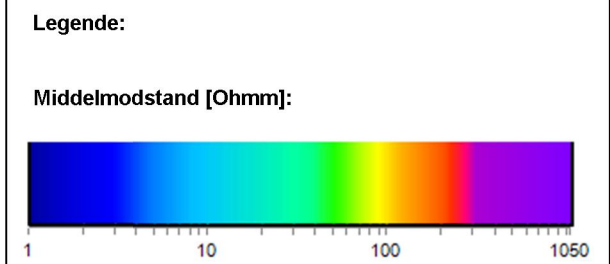
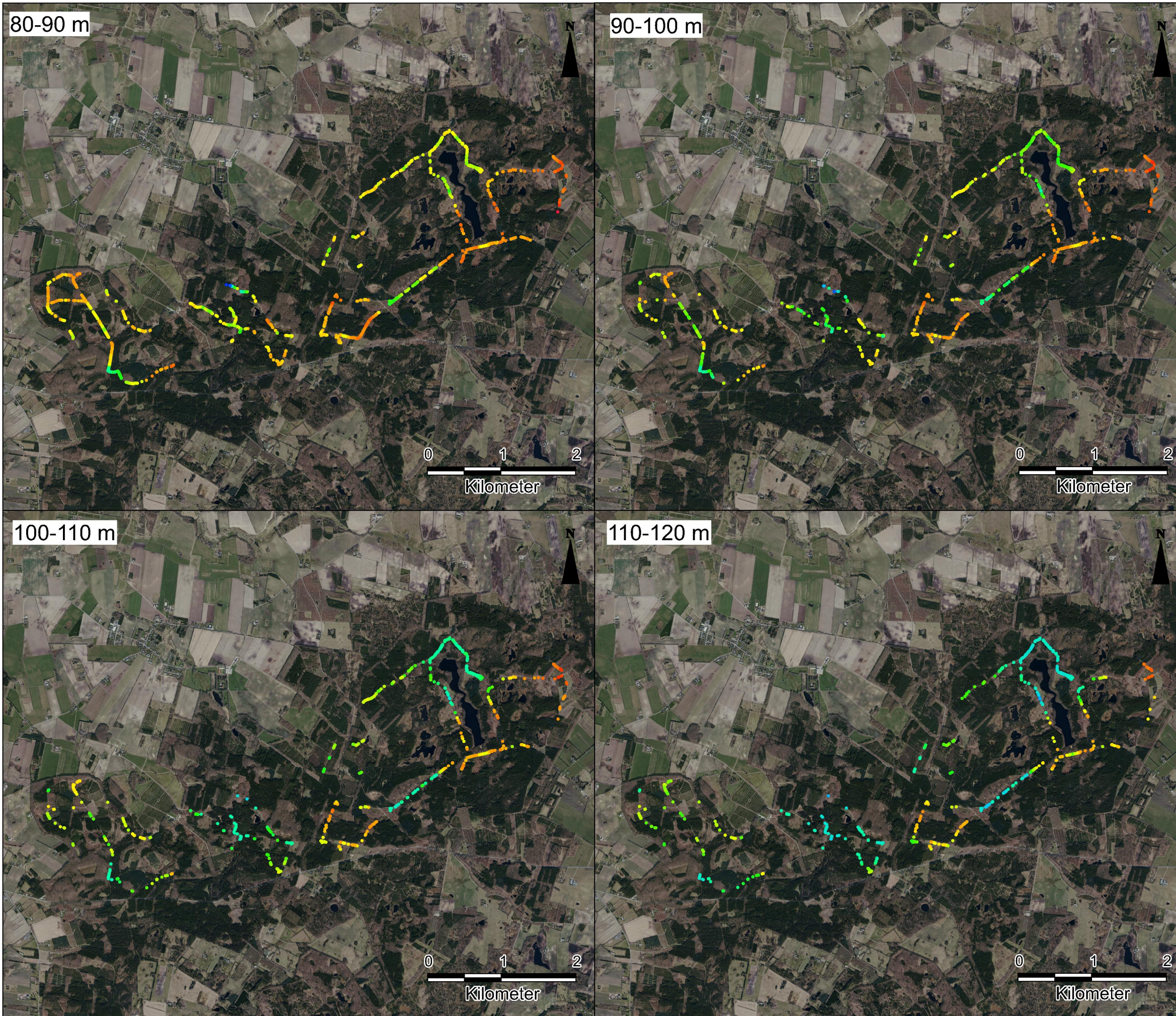
NIRAS

Ceres Allé 3
8000 Aarhus C

www.niras.dk



Dato for feltarbejde: 15. december 2021
Model: 30 lag smooth SCI



Dato for feltarbejde: 15. december 2021
Model: 30 lag smooth SCI

Bilag 5.4

tTEM Løvenholm Skov Middelmodstand i 80-120 m dybde

Rev.: a
Dato: 25-01-2023
Udarb.: KIAG
Kontrol: ADSB
SagsNr.: 1030522

NIRAS
Ceres Allé 3
8000 Aarhus C

www.niras.dk