

Opdateret jordbundstypekort

Rådgivningsnotat fra DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug

Anders Bjørn Møller, Mogens Humlekrog Greve og Amélie Beucher

Institut for Agroøkologi

Datablad

Titel:	Opdateret jordbundstypekort
Forfattere:	Akademisk medarbejder Anders Bjørn Møller, professor og sektionsleder Mogens Humlekrog Greve og adjunkt Amélie Beucher, Institut for Agroøkologi, Aarhus Universitet
Fagfællebedømmelse:	Lektor Bo Vangso Iversen, Institut for Agroøkologi, AU
Kvalitetssikring, data/model:	Seniorrådgiver Kiril Manevski, Institut for Agroøkologi, AU
Kvalitetssikring, DCA:	Chefkonsulent Lene Hegelund, DCA Centerenheden, AU
Rekvirent:	Landbrugsstyrelsen, Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri
Dato for bestilling/levering:	08.12.2023/ 01.03.2024 (til kommentering) / 19.03.2024
Journalnummer:	2023-0626709
Finansiering:	<p>Notatet er udarbejdet som led i "Rammeaftale om forskningsbaseret myndighedsbetjening" indgået mellem Miljøministeriet, Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri og Aarhus Universitet under ID nr. 5.25 i "Ydelsesaftale Planteproduktion 2023-2026".</p> <p>Kortlægningen af jordens tekstur er foretaget i forbindelse med projektet DIGIJORD, i samarbejde med SEGES Innovation, DHI og Københavns Universitet. DIGIJORD er finansieret af Grønt Udviklings- og Demonstrationsprogram (GUDP).</p>
Ekstern kommentering:	Ja. Kommentarket kan findes via dette LINK
Eksterne bidrag:	SEGES Innovation har stillet målinger fra jordprøver på markniveau til rådighed for udarbejdelsen af de nye teksturkort i projektet DIGIJORD, og DHI har udviklet satellitprodukter til kortlægningen i projektet DIGIJORD. Disse data tilhører hhv. de pågældende lodsejere og DHI, og kan ikke deles udenfor projektet. Kortlægningen bygger desuden delvist på kort over afløbsløse lavninger som SCALGO har udviklet og delt med AU. Disse kort tilhører SCALGO og kan ikke deles med tredjeparter.
Kommentarer til besvarelse:	<p>Kortfilen er sendt til LBST via filesender d. 19.03.2024.</p> <p>Notatet præsenterer resultater, som ved notatets udgivelse ikke har været i eksternt peer review eller er publiceret andre steder. Ved en evt. senere publicering i tidsskrifter med eksternt peer review vil der derfor kunne forekomme ændringer.</p>
Citeres som:	Møller AB, Greve MH, Beucher AM. 2024. Opdateret jordbundstypekort. Rådgivningsnotat fra DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, Aarhus Universitet, 41 sider. Leveret: 19.03.2024.
Rådgivning fra DCA:	Læs mere på https://dca.au.dk/raadgivning/

Indholdsfortegnelse

1	Baggrund	4
2	Jordbundsdata	5
2.1	Jordbundsprøver	5
2.2	Laboratorieanalyser	6
2.3	Databehandling	6
3	Forklarende variabler	10
4	Opbygning af modeller	12
5	Nøjagtighed	14
5.1	Overordnet nøjagtighed.....	14
5.2	Nøjagtighed sammenlignet med Tekstur2014.....	15
6	Kortlægning af tekstur og usikkerheder (Tekstur2024)	18
7	Sammenføjning af Tekstur2024 og Tørv2022	19
7.1	Arealkombination.....	19
7.2	Samlet kort over organisk kulstof (Kulstof2022)	20
7.3	Nøjagtighed for kulstofklasser	22
8	Det opdaterede jordbundstypekort (JB2024)	24
8.1	Jordbundstyper	24
8.2	Usikkerheder og nøjagtighed.....	26
9	Konklusion	30
10	Referencer	31
11	Bilag 1: Forklarende variabler	33
12	Bilag 2: Definition af jordbundstyper	39
13	Bilag 3: Oversigt over kort og betegnelser	40

1 Baggrund

Det landsdækkende kort over jordbundstyper (JB) udgør et vigtigt grundlag for regulering og beslutninger vedrørende landbrug og miljø i Danmark. Jordbundstypekortet, der fremgår af jordbundstypeklassifikationsbekendtgørelsen (Retsinformation.dk, 2020) indgår blandt andet i beregningen af landbrugsbedrifternes kvælstofkvote.

Jordbundstyperne er defineret ud fra jordens tekstur samt indholdet af organisk materiale og kalk (Madsen et al., 1992). Jordbundstyperne blev først anvendt til en landsdækkende jordkortlægning i forbindelse med Den Danske Jordklassificering i årene 1976 – 1984. Det indtil nu gældende jordbundstypekort blev udarbejdet ved Aarhus Universitet (AU) i 2014 på baggrund af kort over jordens tekstur og indhold af organisk kulstof (Tekstur2014). Disse kort blev udarbejdet med metoder beskrevet af Adhikari et al. (2013; 2014) i en opløsning på 30,4 m.

AU har i projektet DigiJord, sammen med DHI, SEGES og Københavns Universitet, udarbejdet nye kort over jordens tekstur i Danmark (Tekstur2024). Kortene i Tekstur2024 har en højere opløsning (10 m) end Tekstur2014. De nye kort er desuden udviklet ved brug af satellitbilleder og har derfor en højere detaljeringsgrad end før og en forbedret nøjagtighed på lokalt niveau. De nye, mere detaljerede kort fra Tekstur2024 giver mulighed for at kortlægge jordbundstyper i Danmark med større nøjagtighed end hidtil.

I Tekstur2024 er der desuden taget højde for forskelle imellem laboratoriemetoderne i de anvendte jordbundsanalyser. I Den Danske Jordklassificering (Madsen et al., 1992) blev jordens indhold af organiske materiale ikke fjernet forud for teksturmålingerne. Det organiske materiale forårsager en aggregering af jordens partikler, hvilket især medfører, at en del af lerindholdet i stedet måles som silt (Jensen et al., 2017). Denne fejlkilde har påvirket den kortlagte tekstur i Jordklassificeringen (Madsen et al., 1992) og i efterfølgende kort, som har bygget på de samme data, herunder Tekstur2014. Da laboratoriemetoderne indgår som en variabel i modellerne i Tekstur2024, er det muligt at kortlægge tekturen mere retvisende end før. Dette giver især udslag i et højere lerindhold i store dele af landet.

Herudover har AU har i december 2023 leveret et opdateret landsdækkende kort over kulstofrige lavbunds-jorde (Tørv2022) til Landbrugsstyrelsen (Beucher et al., 2023). Tørv2022 viser i mange lavbundsområder et lavere indhold af organisk kulstof end tidligere kort. I en del tilfælde betyder det lavere indhold af organisk kulstof, at jorden ikke længere kan klassificeres som JB11 (humusjord) og derfor skal tildeles en ny jordbundstype. Omvendt er der også jorde, som har et højere kulstofindhold i Tørv2022 og derfor fremadrettet vil være klassificeret som JB11. Det ændrede indhold af organisk kulstof i Tørv2022 betyder, at der er behov for en opdatering af jordbundstypekortet, der tager højde for denne ændring.

I dette notat beskrives, hvordan kortene i Tekstur2024 er udarbejdet, og hvordan disse kort er blevet kombineret med Tørv2022 for at danne et opdateret landsdækkende kort over jordbundstyper (JB2024). Bilag 3 indeholder desuden en tabeloversigt over de kort, der omtales i notatet.

2 Jordbundsdata

Dette afsnit redegør for de datakilder, der indgår i udarbejdelsen af de nye teksturkort. De nye teksturkort i 10 m opløsning bygger dels på de samme jordbundsprøver som Tekstur2014 (Adhikari et al., 2013; 2014), men inddrager også nye, hidtil ikke anvendte datasæt med jordprøver. De forklarende variabler til kortlægningen omfatter en række nye datalag i 10 m opløsning. De nye teksturkort har derfor en højere opløsning end de gældende jordbundstypekort, der har en opløsning på 30,4 m. De nye datalag med forklarende variabler indgik også i udarbejdelsen af Tørv2022 (Beucher et al., 2023).

2.1 Jordbundsprøver

Vi anvendte målinger af jordens indhold af ler, silt, finsand, grovsand, organisk kulstof og kalk fra flere databaser. De fleste jordprøver stammede fra den Danske Jordklassificering, der omfatter prøver fra 40.000 lokationer, indsamlet i årene 1970 – 1979 (Madsen et al., 1992). Prøvetagningen omfattede de fleste steder kun topjorden (0 – 20 cm), men omfattede også dybere prøver (35 – 55 cm) fra omkring 8.000 lokationer. Hver prøve bestod af jord udtaget fra 25 – 30 punkter indenfor et areal på 5.000 m². Laboratoriemålingerne omfattede alle fire teksturfractioner samt organisk kulstof og kalk. Man målte dog ikke teksturfractionerne, hvis indholdet af organisk materiale eller kalk oversteg 10%.

Prøvetagningen i den Danske Jordklassificering omfattede ikke skovarealer. To senere undersøgelser fokuserede imidlertid på skovarealer i årene 1979 – 1982 (Svendsen og Pedini, 1987) og 1990 – 1991 (Madsen et al., 1992). Den første undersøgelse (Skovtaksationen) udtog prøver af topjorden (0 – 20 cm) fra 1.009 lokationer. Hver prøve bestod af jord fra 4 – 5 stik med et jordbor fra et område afgrænset af en ligesidet trekant med en sidelængde på 30 m (Svendsen og Pedini, 1987). Den anden undersøgelse (Jordklassificeringen for Skove) omfattede 255 lokationer, hvor man udtog jordprøver fra tre dybdeintervaller (0 – 20; 20 – 60 og 60 – 100 cm) efter samme metode som i Jordklassificeringen. Laboratoriemålingerne fra disse to undersøgelser omfattede jordens tekstur og indholdet af organisk kulstof.

Herudover anvendte vi jordprøver fra den Danske Jordprofildatabase (DDJD) (Madsen og Jensen, 1985). Denne database indeholder beskrivelser af omkring 2.500 jordprofiler fra årene 1980 - 2021. De fleste jordprofiler stammer fra Gasledningsundersøgelsen og Kvadratnetsundersøgelsen, der tilsammen dækkede det meste af landet i årene 1981 – 1991 (Madsen og Jensen, 1996), mens de øvrige jordprofiler indgik i flere mindre undersøgelser på lokalt eller regionalt niveau. Databasen omfatter målinger fra mere end 10.000 jordprøver udtaget fra de beskrevne jordbundshorisonter. Målingerne i DDJD omfattede både jordens tekstur samt indholdet af organisk kulstof og kalk.

Vi anvendte også målinger af jordens kulstofindhold fra SINKS-undersøgelsen, der fandt sted i årene 2009 – 2010 (Greve et al., 2014). SINKS-undersøgelsen omfattede prøver fra omkring 10.000 lokationer i historiske tørvearealer. Ved hver lokation blev der udtaget op til fire borekerner (0 – 30; 34 – 64; 68 – 98 og 102 – 132 cm) afhængigt af tykkelsen på de organiske lag. SINKS-prøverne indgik også i udarbejdelsen af Tørv2022 (Beucher et al., 2023). Indholdet af organisk kulstof i historiske tørvearealer er kortlagt i Tørv2022, og prøverne ligger derfor reelt udenfor det kortlagte område i Tekstur2024. Vi har alligevel inddraget SINKS-prøverne i kortlægningen af organisk kulstof i Tekstur2024, da der ellers ville opstå en urealistisk skarp overgang i kortets værdier ved grænsen til de historiske tørvearealer.

Et sidste datasæt med jordprøver udtaget på markniveau blev stillet til rådighed af SEGES Innovation, som indhentede tilladelse fra dataejerne, så målingerne kunne bruges i kortlægningen. I denne undersøgelse

brugte vi omkring 10.000 målinger af organisk kulstof og 4.000 teksturmålinger fra dette datasæt. Alle prøverne stammede fra topjorden (0 – 25 cm).

2.2 Laboratorieanalyser

Alle jordprøver fra de forskellige undersøgelser blev lufttørret og sigtet til fraktionen under 2 mm forud for videre analyser. Teksturmålingerne blev udført med den hydrometriske metode for kortstørrelser under 2 μm og 20 μm og ved vådsigtning for kortstørrelser over 63 μm , 200 μm og 2000 μm (Madsen et al., 1992; Sørensen og Bülow-Olsen, 1994). Indholdet af organisk kulstof blev målt ved Ter Meulen-metoden (Nelson og Sommers, 1983) enten med forudgående fjernelse af kalk eller ved fraregning af kulstof fra det målte kalkindhold (Madsen et al., 1992; Sørensen og Bülow-Olsen, 1994). Analyserne omfattede kun kalkindholdet for jordprøver, der viste en opbrusning ved kontakt med saltsyre (Sørensen og Bülow-Olsen, 1994). I disse tilfælde målte man kalkindholdet ved at tilsætte jorden et overskud af saltsyre. Den udviklede kuldi-oxid opfangedes i et overskud af bariumhydroxid og bestemtes ved titrering med saltsyre (Madsen et al., 1992; Sørensen og Bülow-Olsen, 1994). For prøver, der ikke viste en opbrusning ved kontakt med saltsyre, blev kalkindholdet angivet som 0%.

De fleste af undersøgelserne anvendte sammenlignelige laboratoriemetoder, men forbehandlingen af prøverne var ikke ensartet. I den Danske Jordklassificering, Skovtaksationen og Jordklassificeringen for Skove blev det organiske materiale og kalken ikke fjernet fra jordprøverne før man målte teksturen (Madsen et al., 1992). For prøverne i DDJD blev det organiske materiale kun fjernet, hvis det udgjorde mere end 5% af prøvens vægt. For prøverne udtaget af SEGES blev teksturanalyserne foretaget ved AGROLAB GmbH, hvor fjernelse af organiske materiale i alle tilfælde gik forud for teksturanalysen. Tilstedeværelsen af organisk materiale påvirker ofte den målte tekstur, da det forårsager en aggregering af jordens partikler (Jensen et al., 2017). Aggregeringen betyder især, at det målte lerindhold bliver lavere end det reelle lerindhold, og at det målte siltindhold bliver større. Ved den Danske Jordklassificering var man bevidst om denne potentielle fejlkilde, men man vurderede, at de tekniske udfordringer ved fjernelse af organisk materiale ville hindre analyserne i at blive udført inden for den givne tidsramme (Madsen et al., 1992).

2.3 Databehandling

Vi samlede alle jordprøver til ét samlet, standardiseret datasæt. Vi opsummerede teksturen for jordens mineralfraktion som fire fraktioner, svarende til teksturfraktionerne i Jordklassificeringen: ler (< 2 μm), silt (2 – 20 μm), finsand (20 – 200 μm) og grovsand (200 – 2000 μm). Vi standardiserede disse fire fraktioner til en sum på 100% for hver prøve. Vi udelukkede observationer placeret i vandområder, befæstede arealer og byområder, da vi ikke regnede dem for repræsentative (se desuden afsnit 6). Vi udelukkede desuden prøver udenfor dybdeintervallet 0 – 200 cm, da de ikke var relevante for kortlægningen.

Prøvetagningen i forbindelse med SINKS-undersøgelsen medvirkede til at skævvride data for kulstofindholdet i dybden. Prøvetagningen omfattede kun dybere prøver, hvis de overliggende lag indeholdt organisk jord, og der er derfor en relativ overvægt af kulstofrige jorde i dybden i dette datasæt. Vi indsatte derfor en række kunstigt genererede prøver i datasættet for at skabe en mere repræsentativ fordeling af kulstofindholdet i dybden. De kunstige værdier blev indsat ved at gentage kulstofindholdet fra den dybeste prøve i hvert punkt for de dybder, der ikke havde målte værdier. Dette afspejler ikke nødvendigvis de reelle værdier, men i mangel af målte værdier er det at betragte som en nødvendig antagelse. De kunstigt genererede prøver kunne desuden maksimalt have et kulstofindhold på 12%, da de ellers ville skulle klassificeres som organiske jorde (Greve et al., 2014).

De målte og indsatte værdier for indholdet af organisk kulstof for SINKS-punkterne er opsummeret i Tabel 1. Antallet af kunstigt indsatte værdier varierede fra 5.859 i dybden 34 – 64 cm til 7.843 i dybden 102 – 132 cm. Uden de kunstigt indsatte værdier steg det gennemsnitlige kulstofindhold fra 11,2% i topjorden til 26,8% i det nederste dybdeinterval. Med tilføjelsen af kunstigt indsatte værdier havde det nederste dybdeinterval imidlertid et lavere gennemsnitligt indhold af organisk kulstof på kun 9,0%. De kunstigt genererede værdier modvirkede således overrepræsentationen af prøver med et højt indhold af organisk kulstof i de nederste dybdeintervaller. De kunstigt genererede kulstofværdier indgik i modellerne for at kunne modellere et realistisk kulstofindhold i dybden, men de indgik ikke i vurderingen af modellernes nøjagtighed.

Tabel 1: Opsummering af de målte værdier for indholdet af organisk kulstof (%) fra SINKS-undersøgelsen, de indsatte værdier for dybder uden målinger, og de samlede værdier for begge kategorier. SD: Standardafvigelse.

Kategori	Dybde (cm)	Antal	Gennemsnit (%)	Median (%)	Min (%)	Max (%)	SD (%)
Målte værdier	[0 - 30]	9.322	11,2	5,6	0,1	55,0	12,1
	(34 - 64]	3.463	22,7	20,0	0,2	60,0	16,4
	(68 - 98]	2.066	26,3	27,0	0,3	60,0	16,3
	(102 - 132]	1.479	26,8	29,0	0,2	60,0	16,1
Indsatte værdier	[0 - 30]	0					
	(34 - 64]	5.859	4,8	3,6	0,2	12,0	3,4
	(68 - 98]	7.256	5,4	4,1	0,2	12,0	3,8
	(102 - 132]	7.843	5,7	4,4	0,2	12,0	3,9
Alle værdier	[0 - 30]	9.322	11,2	5,6	0,1	55,0	12,1
	(34 - 64]	9.322	11,4	5,4	0,2	60,0	13,5
	(68 - 98]	9.322	10,0	5,2	0,2	60,0	12,0
	(102 - 132]	9.322	9,0	5,2	0,2	60,0	10,7

Det samlede datasæt havde desuden en ujævn geografiske fordeling, da prøverne var samlet fra flere forskellige undersøgelser med forskellige formål. Områder med en højere prøvetagningstæthed ville derfor potentielt kunne skævvride modellerne og den udregnede nøjagtighed. For at modvirke denne potentielle fejlkilde tildelte vi prøverne en vægtning, så prøver fra områder med en høj prøvetagningstæthed blev vægtet lavere. Prøvetagningstætheden afhang både af de enkelte teksturfraktioner og af udtagningsdybden. Vi udregnede derfor særskilte vægtninger for hver teksturfraktion og for varierende udtagningsdybder. Vi foretog desuden en særskilt vægtning for SINKS-punkterne, da det høje antal prøver i de historiske tørvearealer ellers ville påvirke vægtningen for målinger af organisk kulstof fra punkter i de omkringliggende mineraljorde.

De mineralske teksturfraktioner ændres kun langsomt over tid, men kulstofindholdet i jorden kan ændres i løbet af årtier. Nyere målinger af kulstofindholdet vil derfor som udgangspunkt være mere pålidelige end ældre målinger, og vi valgte derfor også at vægte målingerne af kulstofindholdet efter deres alder. Vi beregnede den aldersbaserede vægtning målinger af organisk kulstof ud fra en antagelse om, at de relative ændringer i kulstofindholdet som regel ligger indenfor intervallet $\pm 1\%$ om året. Denne antagelse er kraftig forenkling, men den stemmer generelt overens med resultater fra Taghizadeh-Toosi et al. (2014). Vi beregnede den aldersbaserede vægtning som:

$$w_{a,i} = 0,99^{t_{max}-t_i}$$

hvor $w_{a,i}$ er den aldersbaserede vægtning for prøve i , t_{max} er udtagningsåret for den nyeste prøve i datasættet og t_i er udtagningsåret for prøve i . Den endelige vægtning for indholdet af organisk kulstof blev udregnet som produktet af den geografiske og den aldersbaserede vægtning for hver prøve.

Det samlede datasæt indeholder omkring 58.000 målinger af lerindholdet og 54.000 – 55.000 målinger af silt, finsand, grovsand og kalk (Tabel 2). For organisk kulstof indeholder datasættet mere end 83.000 målinger, hvor kunstigt genererede prøver ikke er medregnet. De fleste målinger stammer fra topjorden, hvor der fandtes mellem 40.000 og 62.000 prøver for hver fraktion. I dybderne 60 – 100 cm og 100 – 200 cm fandtes kun mellem 2.400 og 4.600 prøver for hver fraktion.

Tabel 2: Oversigt over jordprøver anvendt i undersøgelsen. For hver teksturfraktion i hvert dybdeinterval angives vægtningsnemsnit, vægtnings 5%-kvantil, vægtnings 95%-kvantil, vægtnings standardafvigelse (SD), antal prøver (n) og den samlede vægtnings (w). Tabellen inddeler prøverne i dybdeintervaller afhængigt af midten af det interval, hvor prøven er taget, da nogle prøver er taget på tværs af de angivne intervaller. Tabellen medregner ikke kunstigt genererede prøver.

Fraktion	Dybde (cm)	Gen-nemsnit	5% kvantil	95% kvantil	SD	n	w
Ler (< 2 µm)	[0 - 30]	8,6	2,2	18,0	5,5	44814	32119
	(30 - 60]	9,5	1,6	23,7	7,6	7898	5354
	(60 - 100]	11,6	1,6	30,7	10,2	2552	1080
	(100 - 200]	12,0	1,5	29,1	10,0	2944	1555
Silt (2 – 20 µm)	[0 - 30]	10,2	2,5	19,1	5,6	41042	30723
	(30 - 60]	8,8	1,0	18,9	6,3	7896	5322
	(60 - 100]	7,9	0,5	22,0	7,5	2550	1082
	(100 - 200]	8,6	0,5	23,2	7,9	2938	1553
Finsand (20 – 200 µm)	[0 - 30]	43,6	19,0	69,4	13,9	41042	30723
	(30 - 60]	42,6	13,2	72,3	16,5	7896	5322
	(60 - 100]	37,2	6,3	71,1	18,9	2551	1082
	(100 - 200]	38,0	6,2	73,2	19,4	2940	1554
Grovsand (200 – 2000 µm)	[0 - 30]	37,6	13,3	73,5	18,1	40936	30690
	(30 - 60]	39,1	8,7	81,3	21,6	7887	5322
	(60 - 100]	43,3	2,8	89,8	27,2	2547	1081
	(100 - 200]	41,5	2,4	90,9	27,8	2928	1545
Organisk kulstof	[0 - 30]	3,7	1,0	14,0	6,3	62874	30160
	(30 - 60]	3,2	0,2	21,5	8,5	11660	5228
	(60 - 100]	3,1	0,1	27,3	9,6	4663	1746
	(100 - 200]	2,2	0,0	15,0	8,1	4490	1824
Kalk	[0 - 30]	0,1	0,0	0,0	1,7	41591	31769
	(30 - 60]	0,6	0,0	0,9	4,3	8015	5509
	(60 - 100]	2,0	0,0	17,8	7,5	2453	1038
	(100 - 200]	4,3	0,0	22,4	8,7	2908	1541

Vi inddelte datasættet i to dele: Et uafhængigt datasæt på 10% til vurdering af modellernes nøjagtighed og et træningsdatasæt på 90%. Vi inddelte desuden træningsdatasættet i tre dele til krydsvalidering under

opsætningen af modellerne. Vi brugte den samme opdeling af datasættet for alle teksturfraktioner og alle dybder. Alle teksturfraktioner i alle dybder fra et givent punkt indgik således i det samme deldatasæt.

3 Forklarende variabler

De forklarende variabler omfattede primært 184 geografiske datalag i 10 m opløsning. Disse datalag omfattede satellitdata, terrænvariabler, geologiske kort, klimatiske variabler, arealanvende og geografisk placering. Bilag 1 indeholder en oversigt med datalagene i tabelform.

Satellitprodukterne, udviklet af DHI i projektet Digijord, omfattede både billeder af bar jord og en tidsserie fra vækstsæsonen i 2018. Billederne af bar jord blev sammensat ud fra satellitbilleder fra Sentinel-2 (synlige og infrarøde spektrale bånd) og Sentinel-1 (radarmåling) fra årene 2017 – 2021. De spektrale bånd i Sentinel-2 blev brugt til at identificere tidspunkter, hvor der var bar jord for en given pixel. Tidspunkterne med bar jord blev sammensat til et enkelt billede for hvert bånd udregnet som en geomedian (Roberts et al., 2017) på tværs af alle tidssnit med bar jord for hver pixel. Billederne fra Sentinel-1 kan ikke alene anvendes til at identificere tidspunkter med bar jord, og tidspunkterne blev derfor identificeret ud fra Sentinel-2. Hvis et Sentinel-2-billede indeholdt bar jord for en given pixel, blev Sentinel-1-værdierne for denne pixel udtaget i en efterfølgende periode på otte dage. Ligesom for Sentinel-2 blev disse værdier sammensat til ét datalag for hvert bånd på tværs af alle tidssnit med bar jord for en given pixel. De sammensatte billeder af bar jord omfattede ti spektrale bånd fra Sentinel-2 og to radarsatellitkanaler fra Sentinel-1. Der blev desuden beregnet et datalag med antallet af billeder med bar jord for hver pixel.

Tidsserien af satellitbilleder omfattede et sammensat billede fra foråret 2018 (8. april – 15. maj) samt billeder sammensat på månedsbasis for juni og juli, 2018. De sammensatte billeder var hver udregnet som en geomedian af de skyfri tidssnit fra Sentinel-2 i den pågældende periode. Hvert af de sammensatte billeder indeholdt ti spektrale bånd, og tidsserien udgjorde således 30 geografiske datalag.

Terrænvariabler udgjorde 25 datalag. De fleste af disse variabler blev udregnet ved AU på baggrund af Danmarks Højdemodel 2015 (DHM2015) (Styrelsen for Dataforsyning og Infrastruktur, 2023) aggregeret til en opløsning på 10 m. Ét datalag, som angav dybden af afløbsløse lavninger var dog genereret af SCALGO og stillet til rådighed for Aarhus Universitet.

Klimatiske variabler udgjorde fire datalag afledt fra CHELSA-datasættet (Karger et al., 2017). Datalagene omfattede den årlige nedbør og årstidsvariation (variationskoefficient) samt nedbørssummerne for henholdsvis det vådeste og tørreste kvartal.

Vi inddrog desuden forklarende variabler relateret til udgangsmaterialet herunder det geologiske jordarts-kort (Jakobsen et al., 2015), kort over landskabselementer (Madsen et al., 1992), georegioner (Adhikari et al., 2013), lavbundsarealer og områder med historiske tørveforekomster (Greve et al., 2014). Hvert kort blev konverteret til et antal binære datalag (0 eller 1) svarende til antallet af klasser, hvilket til sammen gav 31 datalag relateret til udgangsmaterialet.

De forklarende variabler relateret til arealanvendelsen blev udledt fra arealanvendelseskort i 10 m opløsning (Levin, 2022) samt Internet Markkort (IMK) (Landbrugsstyrelsen, 2024). Arealanvendelsen blev aggregeret til fem overordnede klasser og omdannet til ét binært lag for hver klasse. Kortene afledt fra IMK omfattede antal år med markoplysninger i perioden 2011 – 2020 samt antal år med henholdsvis drænkrævende afgrøder, måske-drænkrævende afgrøder eller ikke-drænkrævende afgrøder (Møller et al., 2018), og antal år med græs i den samme periode.

De sidste geografiske datalag omfattede et sæt bestående af 64 roterede geografiske koordinater (oblique geographic coordinates; OGCs) (Møller et al., 2020). Disse datalag havde til formål at gøre modellerne i

stand til at indregne den del af den stokastiske rumlige variation, som ikke kan forklares ud fra de øvrige variabler.

Ud over de geografiske datalag inddrog vi også den øvre og nedre grænse for prøvernes udtagningsdybde som forklarende variabler. Ved at inddrage udtagningsdybden som en forklarende variabel er det muligt at kortlægge teksturen i flere dybder med den samme model. Adhikari et al. (2013; 2014) kortlagde teksturen med uafhængige modeller for hvert dybdeinterval. Dette giver en fordel i form af en kortere beregningstid for kortlægningen, da modellerne for hver dybde er enklere end modeller til kortlægning på tværs af flere dybder. Det betyder dog også, at det endelige kort kan vise en urealistisk dybdevariation, da der ikke nødvendigvis er sammenhæng mellem modellernes forudsigelser i de forskellige dybder. En model baseret på prøver fra flere dybder vil også ofte have en bedre nøjagtighed i den dybere del af jorden, da teksturen i dybden oftest korrelerer med teksturen i topjorden, hvor der findes flere prøver.

Vi medtog også fjernelsen af organisk materiale som en forklarende variabel for de mineralske teksturfraktioner. Den målte tekstur er delvist afhængig af, om det organiske materiale blev fjernet fra prøven inden analysen. Vi angav dette med værdierne 1 (organisk materiale fjernet) og 0 (organisk materiale ikke fjernet) i kolonnen "SOM_removal" i det samlede datasæt. Ved at indregne analysemetoden som en variabel vil modellerne bedre være i stand til at skelne effekten af metoden fra de rumlige mønstre i teksturen.

4 Opbygning af modeller

Vi trænede vores modeller til kortlægning med algoritmen XGBoost, der opbygger beslutningstræer ved brug af boosting (Chen og Guestrin, 2016). Ved boosting opbygges flere beslutningstræer ét ad gangen. I hvert beslutningstræ bliver der lagt større vægt på observationer, hvor de forrige beslutningstræers forudsigelser afviger mest fra de målte værdier. Algoritmen opbygger således iterativt stadigt mere nøjagtige modeller. XGBoost giver mulighed for at justere en række parametre, der blandt andet regulerer læringsraten, antallet af observationer og forklarende variable i hvert beslutningstræ og kompleksiteten i beslutningstræerne.

XGBoost er ikke i stand til at angive usikkerheder for de forudsagte værdier, og vi brugte derfor bootstrapping for at kunne kortlægge usikkerheder for teksturen (Efron og Tibshirani, 1994). Bootstrapping indebærer, at man udtager et antal stikprøver fra det samlede datasæt og opbygger en uafhængig model fra hver stikprøve. Beslutningstræers opbygning er stærkt afhængig af de tilgængelige data, så hver stikprøve vil resultere i en model, der afviger fra de øvrige (Breiman, 1996). Den samlede forudsigelse fra modellerne vil være mere robust end de enkelte modellers forudsigelser, og metoden vil gøre det muligt at beregne usikkerheden forbundet med modellernes opbygning.

I denne kortlægning udtog vi 100 stikprøver fra det samlede datasæt for at foretage 100 bootstrap-gentagelser. I hver bootstrap-gentagelse brugte vi således den samme stikprøve til at opbygge modeller for samtlige teksturfractioner. Dette gjorde det muligt at sammenligne forudsigelserne for de forskellige teksturfractioner indenfor den samme gentagelse.

Det store antal af parametre i XGBoost kan kombineres på mange forskellige måder, og det er tidskrævende at finde den optimale indstilling ved en systematisk afsøgning. Vi justerede derfor parametrene for hver model med Bayesiansk optimering (Wang et al., 2023). Bayesiansk optimering fungerer ved at afsøge de værdier, der med størst sandsynlighed vil give et optimalt udfald for en given funktion. Metoden afprøver først funktionen et antal gange med tilfældige værdier. Den udregner herefter, hvilke kombinationer af værdier der med størst sandsynlighed vil give et optimalt udfald, på baggrund af de forrige resultater. Algoritmen afprøver således de mest lovende kombinationer af værdier i hver runde, hvorved den nærmer sig det optimale udfald. Processen fortsætter indtil den finder en optimal kombination af parametrenes værdier, eller indtil den når det maksimalt tilladte antal optimeringsrunder.

Vi optimerede parametrene i XGBoost uafhængigt for hver teksturfraction i hver bootstrap-gentagelse. I optimeringsprocessen udregnede vi modellernes nøjagtighed ved krydsvalidering baseret på de tre deldatasæt beskrevet i afsnit 2.3. Vi brugte den mindst mulige vægtede root mean square error ($RMSE_w$) som mål for nøjagtigheden. Vi transformerede indholdet af organisk kulstof til logaritmisk skala, og omregnede indholdet af kalk til kvadratroden af den rå værdi, før vi udregnede $RMSE_w$ for disse to fraktioner. Begge fraktioner følger en skæv fordeling med mange høje ekstremværdier. Indholdet af kalk har desuden en overvægt af prøver med 0% kalk, som ikke kan omsættes til logaritmisk skala. Det var derfor nødvendigt at transformere disse to fraktioner, da de ekstreme høje værdier ellers ville skævvride optimeringsprocessen.

Vi opbyggede ingen modeller for finsand, men beregnede i stedet denne fraktion som forskellen mellem en tekstursum på 100% og summen af ler, silt og grovsand. I laboratoriet udregnes indholdet af finsand reelt også indirekte ved sammenligning af målinger fra hydrometernethoden (20 μm) og vådsigtning (200 μm) (Madsen et al., 1992; Sørensen og Bülow-Olsen, 1994). Modellerne i hver bootstrap-gentagelse byggede på den samme stikprøve, og det var derfor muligt at beregne indholdet af finsand uafhængigt for hver

gentagelse. Hvis summen af ler, silt og grovsand var større end 100%, blev indholdet af finsand beregnet som 0%, samtidig med, at vi normaliserede indholdet af ler, silt og grovsand, så de tilsammen havde en sum på 100%.

Vi beregnede den samlede nøjagtighed for modellerne ved at beregne den gennemsnitlige forudsigelse for hver observation på tværs af samtlige bootstrap-gentagelser. Vi beregnede den samlede nøjagtighed som $RMSE_w$ og vægtet korrelation (R^2_w) for samtlige teksturfraktioner på basis af forudsigelserne fra krydsvalideringen og for det uafhængige deldatasæt på 10%, der ikke indgik i opsætningen af modellerne. Vi beregnede den samlede nøjagtighed for prøverne inddelt i fire dybdeintervaller: 0 – 30 cm, 30 – 60 cm, 60 – 100 cm og 100 – 200 cm.

5 Nøjagtighed

5.1 Overordnet nøjagtighed

Modellernes forudsigelser var generelt mest nøjagtige i topjorden i form af en høj korrelation og en lav $RMSE_w$, imens nøjagtigheden i dybden var betydeligt lavere (Tabel 3). For kalk og organisk kulstof fandtes den største korrelation dog i ét af de dybere intervaller. Blandt mineralfraktionerne var korrelationen i topjorden lavest for indholdet af finsand (0,64) og ler (0,65) i det uafhængige datasæt. Til sammenligning havde indholdet af grovsand den højeste korrelation (0,72), men også den højeste $RMSE_w$ (9,7%). Siltindholdet havde den laveste $RMSE_w$ blandt mineralfraktionerne (3,2%) efterfulgt af lerindholdet (3,3%). For kalkindholdet var korrelationen meget lav i topjorden (0,03), men større i dybden (Tabel 3). Den største korrelation for kalkindholdet (0,20) fandtes i dybden 60 - 100 cm, der også havde den største $RMSE_w$ (11,8%).

Tabel 3: Nøjagtighed for de enkelte teksturfraktioner i fire dybdeintervaller. R^2_w : Vægtet korrelation. $RMSE_w$: Vægtet root mean square error.

Fraktion	Dybde (cm)	Krydsvalidering		Uafhængigt datasæt	
		R^2_w	$RMSE_w$ (%)	R^2_w	$RMSE_w$ (%)
Ler	[0 - 30]	0,64	3,3	0,65	3,3
	(30 - 60]	0,46	5,6	0,46	5,7
	(60 - 100]	0,21	9,1	0,14	9,2
	(100 - 200]	0,11	9,4	0,03	11,0
Silt	[0 - 30]	0,67	3,2	0,69	3,2
	(30 - 60]	0,50	4,4	0,50	4,5
	(60 - 100]	0,21	6,7	0,17	7,2
	(100 - 200]	0,16	7,2	0,06	8,7
Finsand	[0 - 30]	0,64	8,5	0,64	8,4
	(30 - 60]	0,44	12,5	0,49	11,5
	(60 - 100]	0,09	18,0	0,25	18,4
	(100 - 200]	0,08	18,6	0,14	19,5
Grovsand	[0 - 30]	0,71	9,9	0,72	9,7
	(30 - 60]	0,52	15,1	0,53	14,6
	(60 - 100]	0,20	24,4	0,24	24,0
	(100 - 200]	0,16	25,6	0,11	26,5
Organisk kulstof	[0 - 30]	0,59	4,6	0,57	4,8
	(30 - 60]	0,54	6,7	0,48	7,6
	(60 - 100]	0,48	8,0	0,60	7,8
	(100 - 200]	0,59	6,4	0,53	7,6
Kalk	[0 - 30]	0,16	1,5	0,03	2,3
	(30 - 60]	0,10	4,0	0,04	6,2
	(60 - 100]	0,13	6,7	0,20	11,8
	(100 - 200]	0,23	8,2	0,11	8,8

Korrelationen for lerindholdet var meget lav i dybden 100 – 200 cm (0,03), og siltindholdet viste også en lav korrelation (0,06). Korrelationen var højere for indholdet af finsand (0,14) og grovsand (0,11), som dog også viste en stor RMSE_w i dette interval (henholdsvis 19,5% og 26,5%).

Indholdet af organisk kulstof havde en lavere korrelation end mineralfraktionerne i topjorden (0,57), men en højere korrelation end mineralfraktionerne i de øvrige dybdeintervaller. Den højeste korrelation (0,60) forekom i dybden 60 – 100 cm, som også havde den største RMSE_w (7,8%) (Tabel 3). Indholdet af organisk kulstof for organiske lavbundsjord er som udgangspunkt kortlagt i Tørv2022 (Beucher et al., 2023). Vi valgte derfor også at udregne nøjagtigheden separat for jorde, hvor indholdet af organisk kulstof er ≤6% (Tabel 4). For disse jorde var korrelationen mindre end for det samlede datasæt (0,08 – 0,24), men RMSE_w var også væsentligt mindre (1,0% – 1,5%). Den lavere korrelation for jorde med ≤6% organisk kulstof skyldes primært, at disse jorde kun repræsenterer et begrænset udsnit af variationen i indholdet af organisk kulstof. En afskæring af de observerede værdier begrænser variationen i et datasæt, hvilket alt andet lige medfører en lavere korrelation (Goodwin og Leech, 2006).

Tabel 4: Nøjagtighed af det kortlagte indhold af organisk kulstof for jorde, hvor den målte værdi er ≤6%. R²_w: Vægtet korrelation. RMSE_w: Vægtet root mean square error.

Test	Dybde (cm)	R ² _w	RMSE _w (%)
Krydsvalidering	[0 - 30]	0,26	1,2
	(30 - 60]	0,14	1,5
	(60 - 100]	0,17	1,5
	(100 - 200]	0,19	1,0
Uafhængigt datasæt	[0 - 30]	0,24	1,2
	(30 - 60]	0,16	1,2
	(60 - 100]	0,24	1,0
	(100 - 200]	0,08	1,0

5.2 Nøjagtighed sammenlignet med Tekstur2014

En direkte sammenligning af nøjagtigheden af kortene fra Tekstur2024 og Tekstur2014 er vanskelig, da der kun findes få jordprøver, der ikke er indgået i udarbejdelsen af de to kort. Adhikari et al. (2013) anvendte kun prøver fra DDJD til kortlægningen af de mineralske teksturfraktioner, og Adhikari et al. (2014) anvendte data fra DDJD og Den Danske Jordklassificering til kortlægningen af organisk kulstof i jorden. I disse to studier blev en del af de anvendte data udeladt fra modellerne til en uafhængig vurdering af nøjagtigheden. De endelige teksturkort blev dog reelt udarbejdet efterfølgende med de samme metoder, men med inddragelse af samtlige data fra DDJD, Den Danske Jordklassificering og SINKS-databasen. Kortene fra Tekstur2014 er sandsynligvis mere nøjagtige end kortene udarbejdet af Adhikari et al. (2013; 2014) som følge af det større datagrundlag. Den reelle nøjagtighed er dog reelt ukendt, da der i dette tilfælde ikke blev foretaget en uafhængig beregning af modellernes nøjagtighed.

Tre af de datasæt, som indgik i Tekstur2024, er dog ikke anvendt i Tekstur2014. Disse datasæt omfatter prøverne fra Skovtaksationen (Svendsen og Pedini, 1987), Jordklassificeringen for Skove (Madsen et al., 1992) samt datasættet som SEGES stillede til rådighed i forbindelse med DIGIJORD. Vi foretog derfor en

sammenligning af nøjagtighederne i Tekstur2014 og Tekstur2024 på baggrund af prøver fra disse tre datasæt, der ikke indgik i opbygningen af modellerne i Tekstur2024 (Tabel 5). Vi beregnede nøjagtighederne samlet for de to skovundersøgelser, da deres undersøgelsesområder og metoder var sammenlignelige. Datasættet fra SEGES repræsenterer derimod landbrugsarealer, og vi har derfor udregnet nøjagtigheden særskilt for dette datasæt. Vi sammenlignede kun nøjagtighederne for dybden 0 – 30 cm, da der var for få prøver i de øvrige dybdeintervaller. Kalkindholdet indgik ikke i sammenligningen, da det ikke var omfattet i Tekstur2014.

Tabel 5: Sammenligning af nøjagtigheden af de kortlagte teksturfractioner i Tekstur2014 og Tekstur2024 i dybden 0 – 30 cm. Nøjagtigheden er beregnet på baggrund af prøver fra det uafhængige deldatasæt, der ikke indgik i modellerne til kortlægningen (se afsnit 2.3). Datasættet "Skove" omfatter prøver fra Skovtaksationen (Svendson og Pedini, 1987) og Jordklassificeringen for Skove (Madsen et al., 1992). R^2_w : Vægtet korrelation. $RMSE_w$: Vægtet root mean square error.

Datasæt	Fraktion	Kort	R^2_w	$RMSE_w$ (%)	n
Skove	Ler	Tekstur2014	0,46	4,2	123
		Tekstur2024	0,59	3,6	123
	Silt	Tekstur2014	0,64	4,8	123
		Tekstur2024	0,69	4,4	123
	Finsand	Tekstur2014	0,36	12,0	123
		Tekstur2024	0,43	11,7	123
	Grovsand	Tekstur2014	0,56	14,8	123
		Tekstur2024	0,62	14,3	123
	Organisk kulstof	Tekstur2014	0,01	1,4	123
		Tekstur2024	0,08	0,9	123
SEGES	Ler	Tekstur2014	0,48	4,4	418
		Tekstur2024	0,68	3,5	418
	Silt	Tekstur2014	0,63	3,2	50
		Tekstur2024	0,81	1,9	50
	Finsand	Tekstur2014	0,52	11,6	50
		Tekstur2024	0,67	8,9	50
	Grovsand	Tekstur2014	0,71	13,5	50
		Tekstur2024	0,82	10,2	50
	Organisk kulstof	Tekstur2014	0,60	2,5	1009
		Tekstur2024	0,69	2,4	1009

Sammenligningen viser, at kortene fra Tekstur2024 har en højere nøjagtighed end kortene fra Tekstur2014 i form af en højere korrelation og en mindre afvigelse fra de målte værdier (Tabel 5). Dette er tilfældet for alle de kortlagte teksturfractioner, både for de to skovundersøgelser og for prøverne stillet til rådighed af SEGES. Korrelationen var især højere for lerindholdet, men reduktionen i $RMSE_w$ var størst for indholdet af grovsand. Både Tekstur2014 og Tekstur2024 havde desuden en større nøjagtighed for prøverne fra SEGES end for de to skovundersøgelser. Forskellen på nøjagtigheden i Tekstur2014 og Tekstur2024 var også generelt større for prøverne fra SEGES end for skovundersøgelserne.

Denne sammenligning tyder på, at den forbedrede nøjagtighed i Tekstur2024 især skyldes inddragelsen af satellitbilleder med bar jord. Fraværet af billeder med bar jord i skovområder betyder, at nøjagtigheden

ikke forbedres i samme grad som for landbrugsarealer. Nøjagtigheden er dog også større for skovområder i Tekstur2024, sandsynligvis som resultat af det øgede antal jordprøver og nye forklarende variabler med en højere opløsning.

6 Kortlægning af tekstur og usikkerheder (Tekstur2024)

Vi kortlagde hver teksturfraktion i fire dybdeintervaller (0 – 30 cm, 30 – 60 cm, 60 – 100 cm og 100 – 200 cm) ved at angive den øvre og den nedre grænse for hvert dybdeinterval som variable. Vi angav desuden værdien for "SOM_removal" som 1 for indholdet af ler, silt og grovsand, så de kortlagte værdier i højest mulig grad ville stemme overens med målinger foretaget med en forudgående fjernelse af organisk materiale.

Vi kortlagde hver teksturfraktion 100 gange, ved brug af modellerne fra bootstrap-gentagelserne. I hver gentagelse kortlagde vi desuden indholdet af finsand baseret på indholdet af ler, silt og grovsand, som beskrevet i afsnit 4. Herudover beregnede vi jordbundstyper for hver bootstrap-gentagelse for derved at kunne angive en usikkerhed for jordbundstypeteket. Vi opsummerede hver teksturfraktion i et givent dybdeinterval ved at beregne den gennemsnitlige værdi på pixelniveau på tværs af bootstrap-gentagelserne. Vi beregnede usikkerhederne for hver teksturfraktion ved at beregne standardafvigelsen (SD) og kvantilerne ved 5% og 95% sandsynlighed for de kortlagte værdier på tværs af bootstrap-gentagelserne. Den endelige jordbundstype blev beregnet på baggrund af de opsummerede værdier for de kortlagte teksturfraktioner i dybden 0 – 30 cm. Vi undlod dog at kortlægge JB11 på dette trin i processen, da udbredelsen af kulstofrige lavbundslande, og derved også JB11, som udgangspunkt er kortlagt i Tørv2022 (Beucher et al., 2023). Bilag 2 angiver definitionen af de enkelte jordbundstyper i tabelform.

Usikkerheden for de kortlagte jordbundstyper blev beregnet som 100% fratrukket frekvensen af den hyppigste jordbundstype i bootstrap-gentagelserne for en given pixel. Usikkerheden for jordbundstypen var således 0%, hvis den forudsagte jordbundstype var den samme på tværs af alle gentagelser. Omvendt ville usikkerheden være 80% i et tilfælde, hvor den hyppigste jordbundstype kun forekom i 20 ud af 100 gentagelser.

Vi kortlagde ikke jordens tekstur for vandområder, befæstede arealer og byområder. Dette skyldtes delvist, at der ikke findes et betydeligt antal af repræsentative jordbundsprøver for disse arealer, men også, at satellitdata vil være uegnede til kortlægning af jordbunden for mange af disse arealer. For nogle vandområder og bebyggede arealer er det desuden tvivlsomt, om de i rent praktisk forstand bør betragtes som jordbundsarealer.

Den endelige kort over indholdet af organisk kulstof og jordbundstyper blev udarbejdet ved at sammensætte kortene med resultaterne fra Tørv2022 (afsnit 5). Vi henviser i det følgende til kortene udarbejdet som beskrevet i dette afsnit under betegnelsen Tekstur2024.

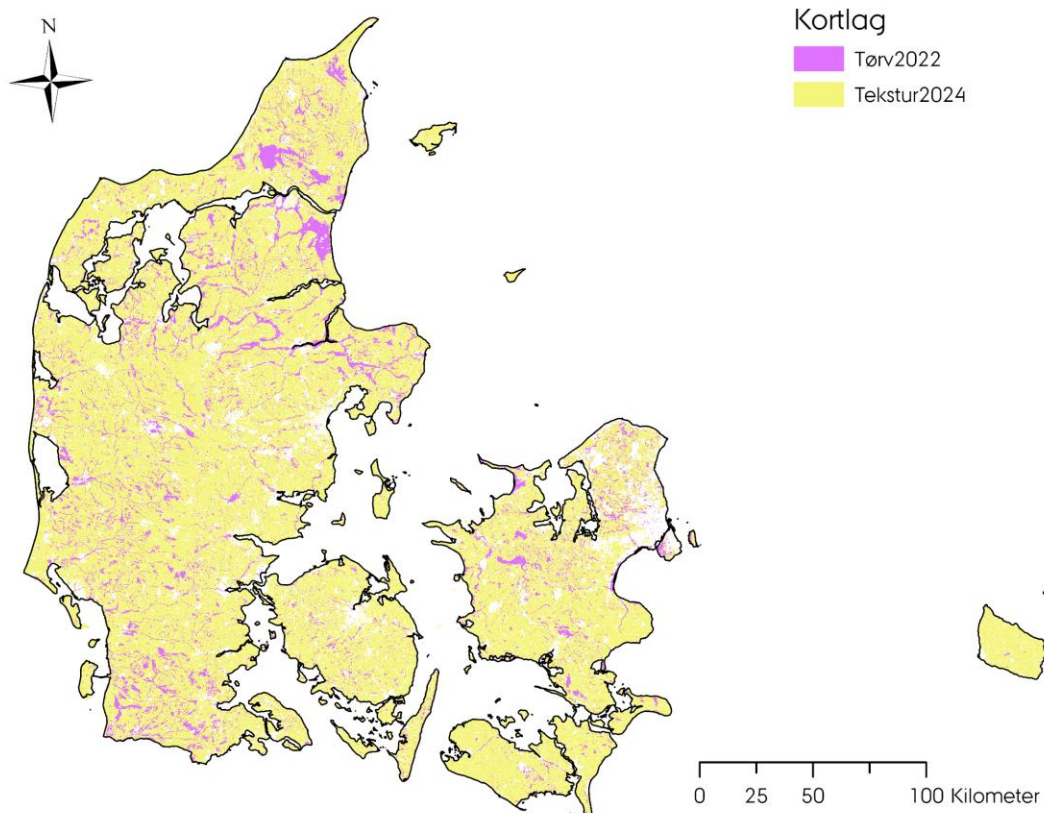
7 Sammenføjning af Tekstur2024 og Tørv2022

7.1 Areakombination

Vi kombinerede kortene over indholdet af organisk kulstof fra Tørv2022 og Tekstur2024 for at danne et sammenhængende kortlag (Kulstof2022). Vi anvendte som udgangspunkt værdierne fra Tørv2022 for historiske tørveområder og for alle arealer, hvor indholdet af organisk kulstof var >6% (Tabel 6). Vi anvendte værdier fra Tekstur2024 for arealer udenfor historiske tørvearealer, hvis indholdet af organisk kulstof var ≤6%. Vi anvendte desuden Tekstur2024 for alle arealer, der lå udenfor kortlagene fra Tørv2022. Vi beskar samtidig kortene med usikkerheder for det kortlagte indhold af organisk kulstof, så de kun dækkede arealer, hvor indholdet af organisk kulstof stammede fra Tekstur2024. Bilag 3 indeholder en oversigt med betegnelserne for de omtalte kort og en uddybende forklaring i tabelform.

Tabel 6: Kombination af kort over indholdet af organisk kulstof fra Tørv2022 og Tekstur2024. Tabellen angiver hvilket kort der er anvendt for en given kombination af værdierne i de to kort. SOC: Organisk kulstof (%). NA: Ingen værdi.

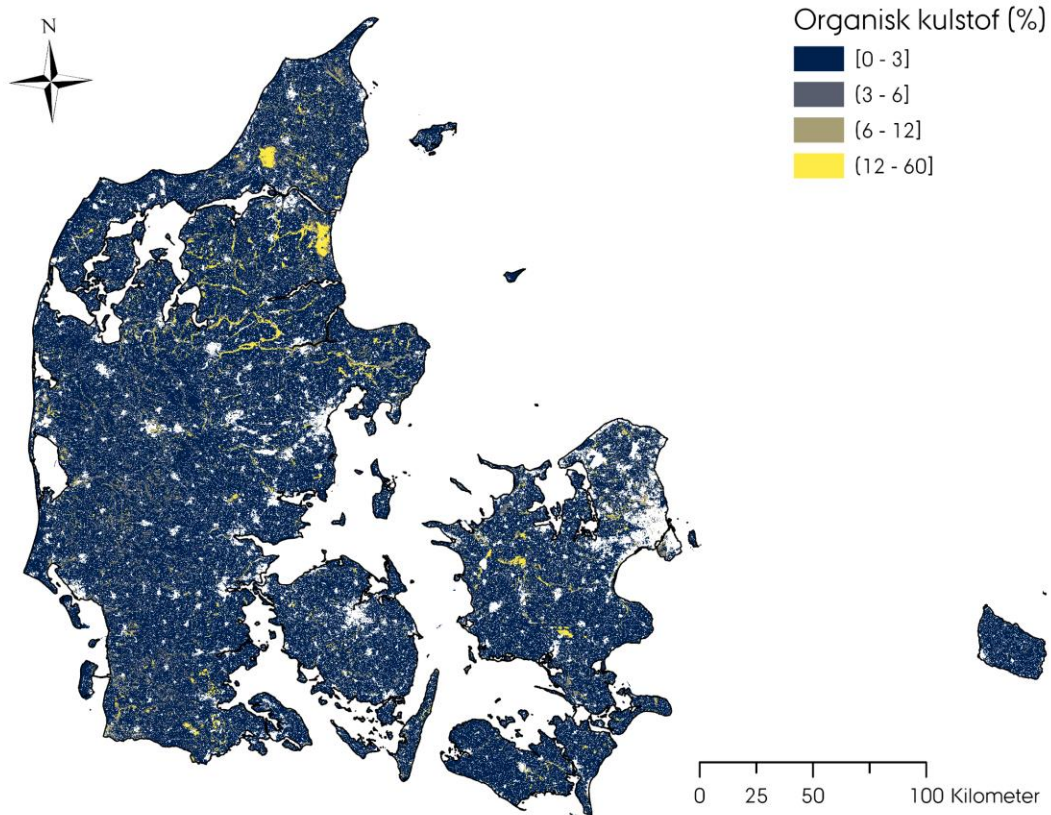
Tekstur2024	Tørv2022		
	SOC ≤ 6%	SOC > 6%	NA
SOC ≤ 6% udenfor historisk tørveområde	Tekstur2024	Tørv2022	Tekstur2024
SOC ≤ 6 % i historisk tørveområde	Tørv2022	Tørv2022	Tekstur2024
SOC > 6%	Tørv2022	Tørv2022	Tekstur2024
NA udenfor historisk tørveområde	NA	Tørv2022	NA
NA i historisk tørveområde	Tørv2022	Tørv2022	NA



Figur 1: Illustration af hvilke arealer fra de to kort over indholdet af organisk kulstof, der indgår i det samlede landsdækkende kort.

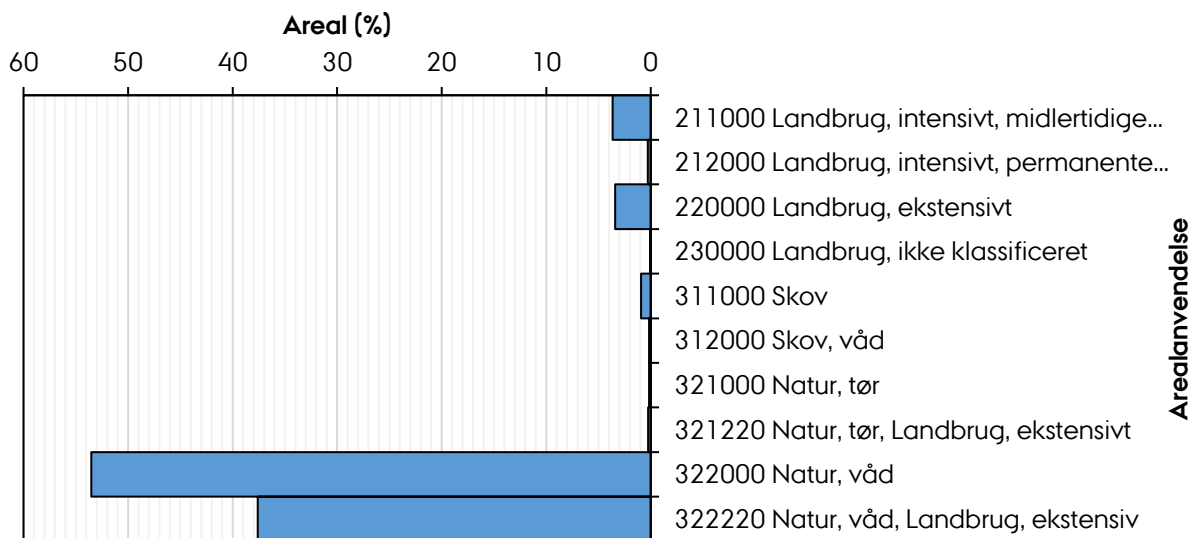
7.2 Samlet kort over organisk kulstof (Kulstof2022)

De fleste arealer udenfor Tørv2022 indeholdt ikke mere end 6% organisk kulstof. Indholdet af organisk kulstof var dog større end 6% for 364 ha udenfor det kortlagte område i Tørv2022. Arealet med mere end 6% organisk kulstof er derfor større i det samlede kort end i Tørv2022. Af det tilføjede areal lå 151 ha, svarende til 41%, indenfor markarealet i 2022 jf. IMK.



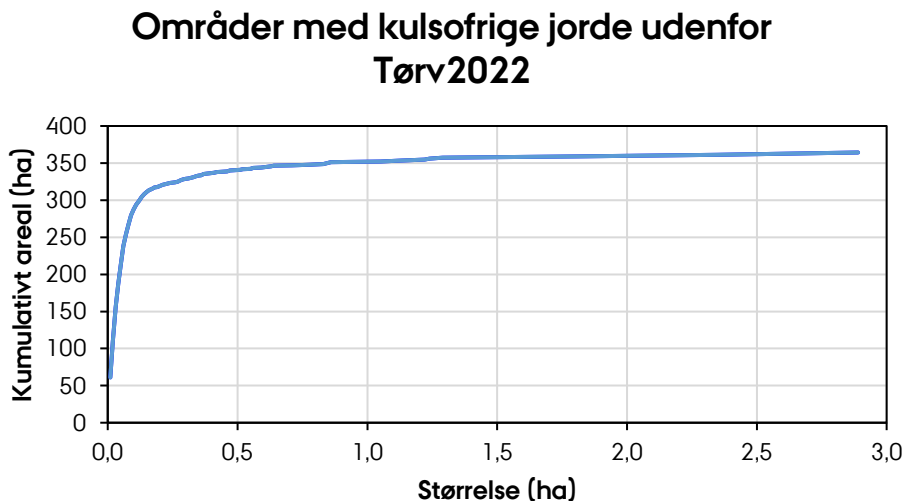
Figur 2: Indholdet af organisk kulstof i dybden 0 – 30 cm i det samlede kortlag for Tørv2022 (Beucher et al., 2023) og Tekstur 2024.

Arealanvendelsen for de yderligere 364 ha med kulstofrige jorde var hovedsageligt præget af våde naturtyper og halvnaturarealer (Figur 3). Kun 14 ha (svarende til 3,9%) af de nye kulstofrige jorde indgik i arealer med intensivt landbrug.



Figur 3: Arealanvendelse for arealer med mere end 6% organisk kulstof udenfor området kortlagt i Tørv2022, jf. Levin (2022). Arealet udgør i alt 364 ha.

De fleste af de nye områder med kulstofrige jorde var forholdsvis små med individuelle arealer på kun få hundrede kvadratmeter (Figur 4). Kun otte af de nye områder med kulstofrige jorde havde en størrelse på mere end én ha. De fleste af de nye områder med kulstofrige jorde lå i umiddelbar forlængelse af lavbundsarealet.



Figur 4: Kumulativt areal af områder med mere end 6% organisk kulstof udenfor området kortlagt i Tørv2022 sorteret efter størrelsen på de enkelte områder.

7.3 Nøjagtighed for kulstofklasser

Vi beregnede nøjagtigheden for Kulstof2022 som et vægtet gennemsnit af nøjagtighederne fra Tørv2022 og Tekstur2024, ud fra den andel som hvert kort udgjorde i det samlede kort. Vi beregnede nøjagtighederne som *positive prediction value* (PPV), der angiver sandsynligheden for, at den kortlagte kulstofklasse stemmer overens med den observerede. Vi beregnede PPV for organisk kulstof inddelt i tre klasser ($\leq 6\%$, $6 - 12\%$ og $> 12\%$ organisk kulstof) og to klasser ($\leq 6\%$ og $> 6\%$ organisk kulstof).

Arealet med $> 6\%$ organisk kulstof stammer i 99.8% af alle tilfælde fra Tørv2022, og nøjagtigheden for disse arealer er derfor ikke ændret betydeligt i Kulstof2022. Ud fra resultaterne i Beucher et al. (2023) kan PPV for jordene i de højere kulstofklasser beregnes som 24% for jorde med $6 - 12\%$ organisk kulstof og 68% for jorde med $> 12\%$ organisk kulstof. Den samlede PPV for disse to klasser (alle jorde med $> 6\%$ organisk kulstof) var 70%.

PPV for jorde med $\leq 6\%$ organisk kulstof var 79% i Tørv2022. Vi beregnede PPV for den samme kulstofklasse i Tekstur2024 ud fra det uafhængige datasæt. Vi udelukkede prøver fra områder, der indgik i arealet, hvor kulstofindholdet var kortlagt ud fra Tørv2022, da målet var at beregne nøjagtigheden for andelen, hvor det kortlagte kulstofindhold stammede fra Tekstur2024. PPV for jorde med $\leq 6\%$ organisk kulstof var 99.9% i Tekstur2024-arealet. PPV beregnet som et arealvægtet gennemsnit af de to kort var 99% for jorde med $\leq 6\%$ organisk kulstof (Tabel 7).

Tabel 7: Nøjagtighed beregnet som positive prediction value (PPV) for kulstofklasserne kortlagt ud fra Tørv2022 og Tekstur2024 samt den samlede PPV for hver klasse i det samlede kort Kulstof2022. Den gennemsnitlige PPV for det samlede kort er udregnet som et arealvægtet gennemsnit af de enkelte klasser. Tallene i "PPV" og "Areal" er afrundede værdier.

Kort	Kulstofklasse	PPV	Areal (ha)
Tørv2022	≤6%	79	227557
	6 - 12%	24	120402
	>12%	68	85924
	>6%	70	206327
Tekstur2024	≤6%	100	3129687
	6 - 12%	0	363
	>12%	0	1
	>6%	0	364
Kulstof2022	≤6%	99	3357244
	6 - 12%	24	120765
	>12%	68	85926
	>6%	70	206691
	Gennemsnit - Tre klasser	95	3563935
	Gennemsnit - To klasser	97	3563935

PPV for jorde med >6% organisk kulstof indenfor Tekstur2024-arealet var 0%. Disse jorde udgjorde dog en meget lille del af det samlede areal med >6% organisk kulstof, så den samlede nøjagtighed for disse jorde var stort set uændret sammenlignet med Tørv2022 (Tabel 7).

Den gennemsnitlige PPV for alle kulstofklasser i Kulstof2022 kan beregnes til 95%, hvis der anvendes tre klasser (≤6%, 6 - 12% og >12% organisk kulstof) og 97%, hvis der anvendes to klasser (≤6% og >6% organisk kulstof) (Tabel 7).

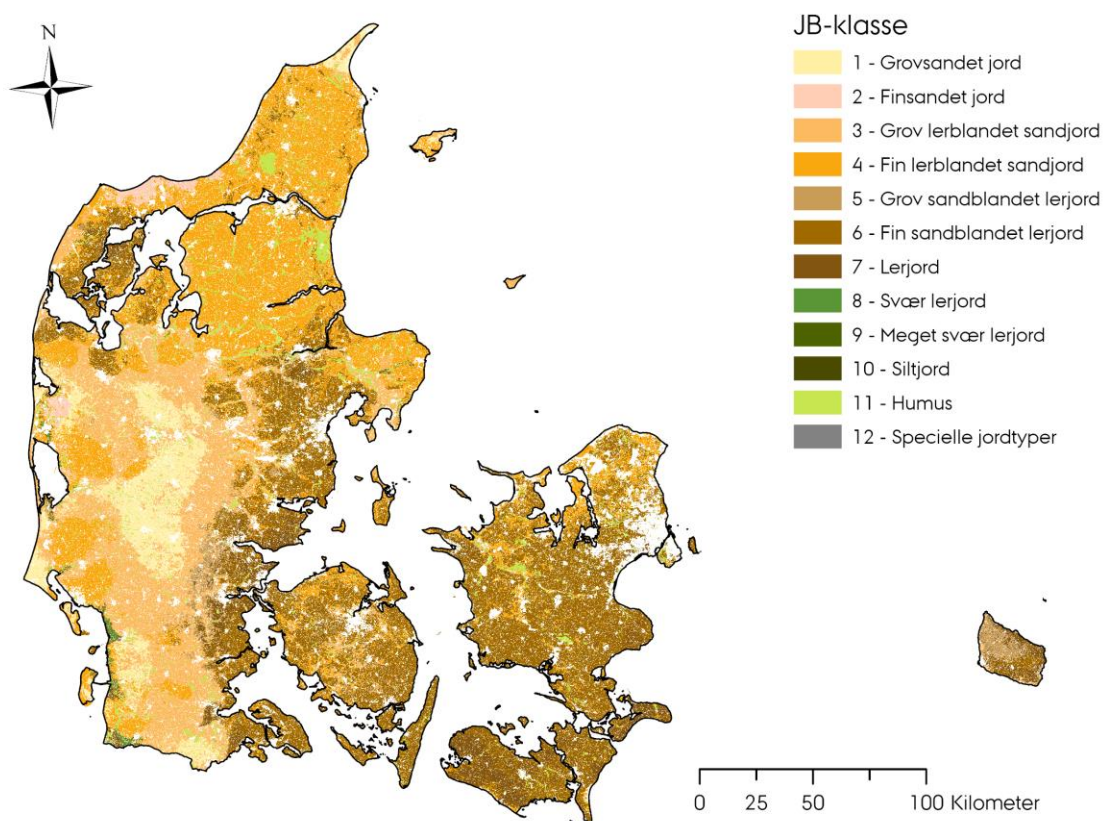
8 Det opdaterede jordbundstypekort (JB2024)

8.1 Jordbundstyper

Vi klassificerede alle arealer med mere end 6% organisk kulstof i det kombinerede kortlag som JB11 (se også Bilag 2). Definitionen af JB11 i det nye jordbundstypekort afviger derfor fra den gældende definition (mere end 5,87% organisk kulstof), der bygger på en antagelse om, at organisk materiale i jorden indeholder 58,7% kulstof (Madsen et al., 1992).

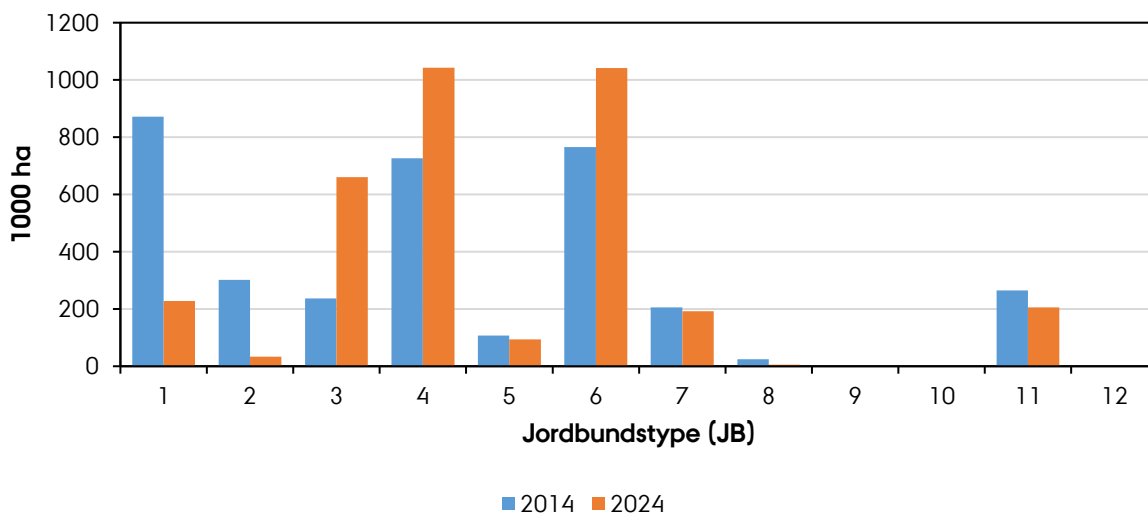
Ændringen i definitionen af JB11 skyldes, at kulstofrige lavbundsjordene i Tørv2022 er defineret ved et indhold af organisk kulstof >6% (Beucher et al., 2023). Kun 257 observationer, svarende til 0,3% af det samlede datasæt, havde et indhold af organisk kulstof mellem 5,87% og 6%, og forskellen er således kun relevant for et begrænset areal. Det bør også tages i betragtning, at kulstofindholdet i jordens organiske materiale generelt er lavere end 58% og tilmed kan variere betydeligt (Pribyl, 2010). Hertil kommer, at jordens indhold af organisk kulstof som regel kan måles mere nøjagtigt end indholdet af organisk materiale (Jensen et al., 2018), og derfor er et mere pålideligt kriterium for opdeling af jordbundstyper. Usikkerheden ved antagelsen om et kulstofindhold på 58,7% i det organiske materiale er reelt større end forskellen på de to definitioner, og det vil derfor være overflødig og misvisende at anvende dem begge fremadrettet. Samlet set vil det være mere sikkert og utvetydigt at definere JB11 ud fra et indhold af organisk kulstof over 6%.

Vi tilføjede arealet med JB11, baseret på kortlagene fra Tørv2022 og Tekstur2024, til det allerede udarbejdede kort over de øvrige jordbundstyper, baseret på Tekstur2024 (Figur 5).



Figur 5: Nyt kort over jordbundstyper baseret på Tekstur2024 og Tørv2022.

Sammenlignet med jordbundstypekortet fra 2014 viser det nye kort især et markant mindre areal med JB1 og JB2, og et større areal med JB3, JB4 og JB6 (Figur 6). JB9 og JB10 optræder ikke i det nye JB-kort. Disse to jordtyper var forholdsvis sjældne i kortet fra 2014 og dækkede henholdsvis kun 39 ha og 1 ha. Areallet med JB8 er også stærkt reduceret i det nye kort. JB8, JB9 og JB10 er alle defineret ved ekstremt høje værdier for indholdet af ler (JB8 og JB9) eller silt (JB10) (Bilag 2). Det reducerede areal er derfor sandsynligvis et resultat af, at der er færre ekstremt høje værdier for disse to fraktioner i de nye teksturkort. Omvendt indeholder det nye JB-kort 15 ha med JB12, der ikke optrådte i kortet fra 2014. JB12 er defineret ved et kalkindhold over 10% (Bilag 2), og vi har derfor kortlagt JB12 på baggrund af det kortlagte kalkindhold. Kalkindholdet indgik ikke i Tekstur2014, og det var derfor ikke muligt at kortlægge denne jordbundstype med det daværende kortgrundlag.



Figur 6: Sammenligning af arealfordelingen imellem jordbundstypekortet fra 2014 og det nye kort.

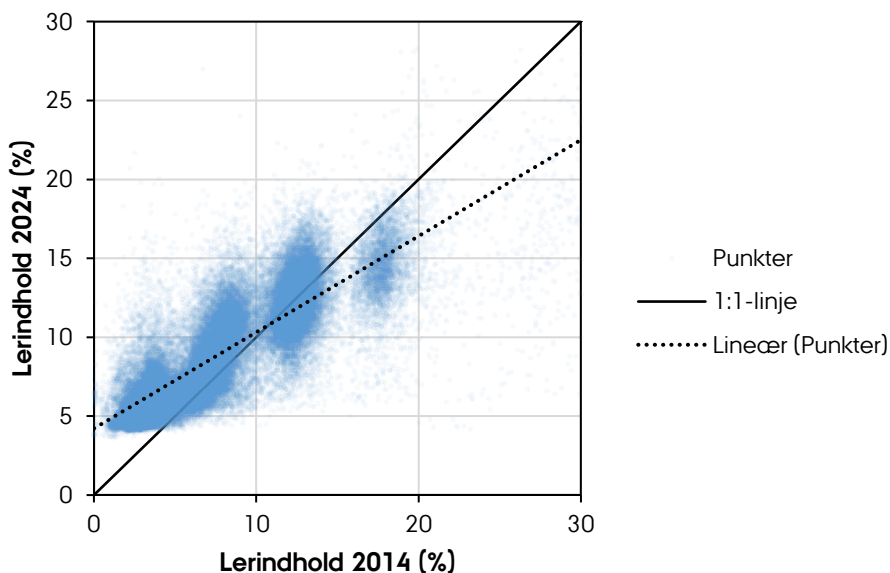
Reduktionen i JB1 er hovedsageligt forbundet med, at de forhenværende JB1-arealer er blevet omklassificeret som JB3 og JB4 i det nye kort (Tabel 8). Den store nedgang i arealet med JB2 kommer især af en omklassificering til JB4. En stor del af det tidligere JB4-areal fremstår nu som JB6, men arealerne tilføjet fra JB1 og JB2 betyder, at det samlede areal med JB4 er større end i 2014.

Tabel 8: Arealfordelingen af ændringer i jordbundstyperne mellem kort fra 2014 og 2024. Tabellen omfatter kun arealer, der indgår i begge kort.

	2024												
	JB1	JB2	JB3	JB4	JB5	JB6	JB7	JB8	JB9	JB10	JB11	JB12	Sum
2014	1000 ha												
JB1	209	13	417	203	5	7	1	0	0	0	17	0	871
JB2	3	19	4	259	0	8	0	0	0	0	8	0	302
JB3	3	0	144	39	25	19	1	0	0	0	5	0	237
JB4	1	0	46	426	9	222	7	0	0	0	16	0	727
JB5	0	0	9	8	27	48	13	0	0	0	2	0	107
JB6	0	0	4	60	14	611	69	0	0	0	8	0	765

JB7	0	0	1	5	8	100	88	0	0	0	4	0	206
JB8	0	0	0	1	1	3	11	4	0	0	4	0	25
JB9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
JB10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
JB11	11	1	35	43	6	24	3	0	0	0	141	0	265
JB12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sum	228	34	661	1043	94	1042	192	5	0	0	206	0	3239

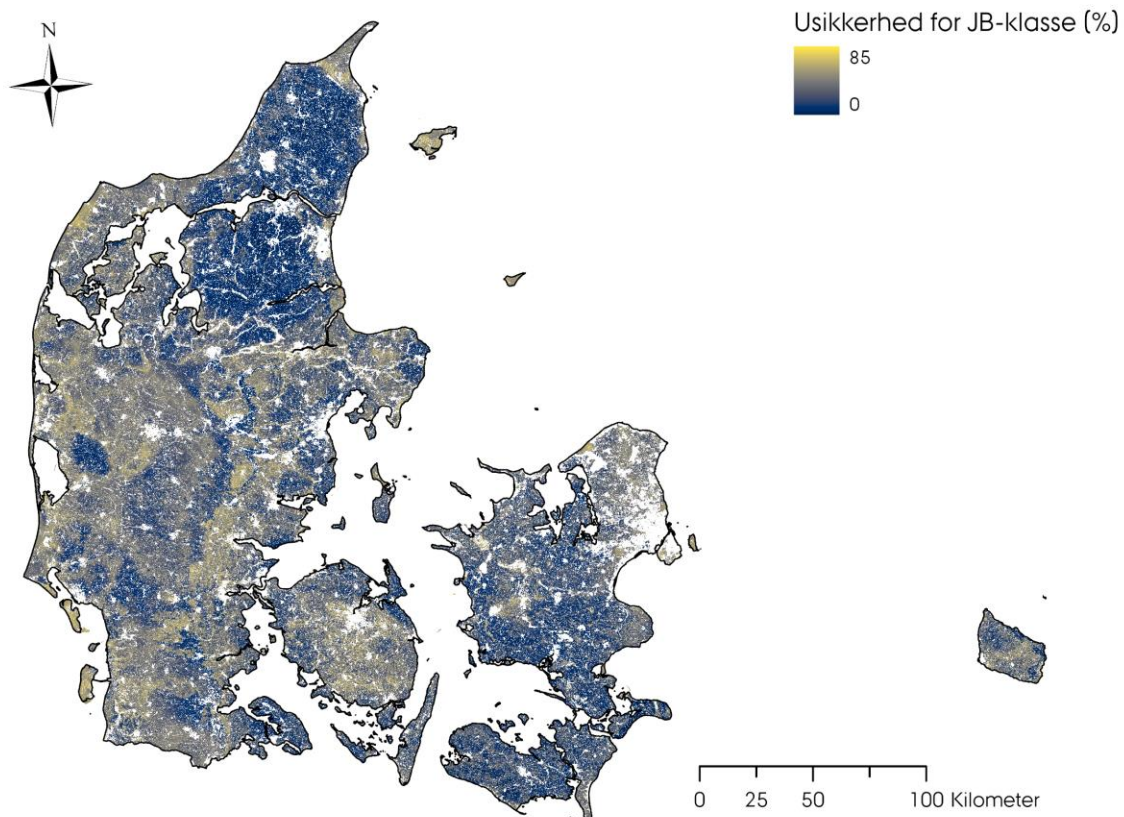
Den underliggende årsag til ændringerne i arealfordelingen af JB1 – JB6 er primært, at lerindholdet i Tekstur2024 mange steder er højere end i Tekstur2014. Dette er især tilfældet for jorde, der i Tekstur2014 havde et lerindhold under 10% (Figur 7). Hovedårsagen til det højere lerindhold i Tekstur2024 er sandsynligvis, at modellerne i dette tilfælde indregner effekten af forskellige laboratoriemetoder. Det kortlagte lerindhold afspejler derfor i højere grad teksturmålinger med en forudgående fjernelse af det organiske materiale. Korrelationen imellem de to kort over lerindholdet var 0,70. Den absolutte forskel på lerindholdet i de to kort var i gennemsnit 2,2%.



Figur 7: Sammenligning af lerindholdet i teksturkort fra 2014 og 2024 for 80.000 tilfældigt placerede punkter. Punkterne er plottet med 95% gennemsnitlighed.

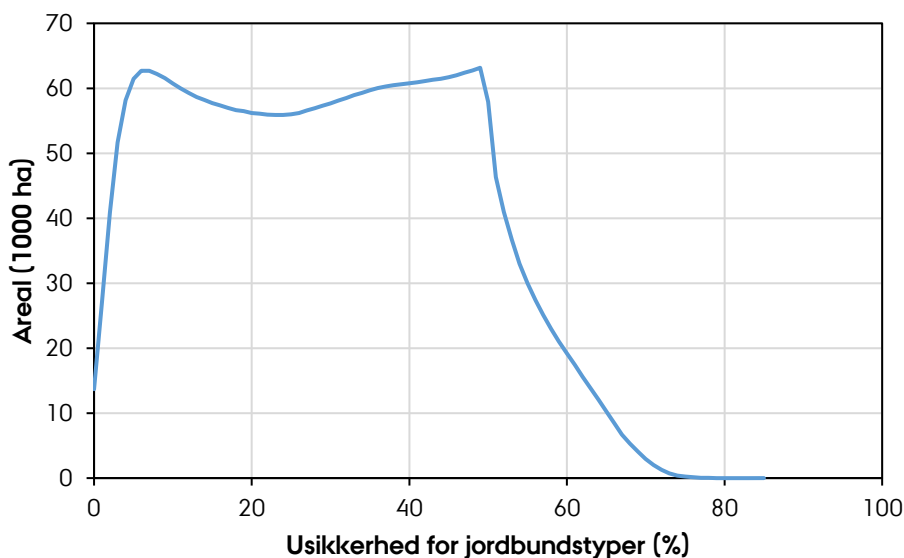
8.2 Usikkerheder og nøjagtighed

Vi beskar kortet med usikkerheder for de kortlagte jordbundstyper, så det kun dækkede arealer med $\leq 6\%$ organisk kulstof (Figur 8). Usikkerhederne varierede fra 0% til 85% med et gennemsnit på 30%. Usikkerhederne var generelt lave i Vendsyssel, Himmerland, Sydsjælland og Lolland-Falster. Der var derimod større usikkerheder i de øvrige dele af Jylland og på Fyn. Angivelsen af usikkerheder kan bruges til at vurdere, om kortets værdier er tilstrækkeligt sikre til et givent formål i forskellige områder, f.eks. til en vurdering af om der er brug for yderligere prøvetagning, eller prioritering af tiltag i områder, hvor de med størst sandsynlighed har den ønskede effekt.



Figur 8: Usikkerheder forbundet med de kortlagte jordbundstyper.

Usikkerhederne for de kortlagte jordbundstyper var i de fleste tilfælde mellem 5% og 50%. Usikkerhederne var i øvrigt forholdsvis jævnt fordelt i intervallet mellem disse to værdier (Figur 9). 6% af det kortlagte areal havde usikkerheder under 5%, og 12% af arealet havde usikkerheder over 50%.



Figur 9: Arealfordeling af usikkerhederne for de kortlagte jordbundstyper

Betragter man arealfordelingen af usikkerhederne indenfor de kortlagte jordbundstyper ses det, at usikkerhederne er forholdsvis lave indenfor arealet med JB4, JB6, JB7 og JB8 (Tabel 9). Disse jordbundstyper har en gennemsnitlig usikkerhed under 30%, og mere end 70% af arealet har usikkerheder under 40%. Omvendt var usikkerhederne forholdsvis store for JB2, JB5 og JB12. For disse jordbundstyper var usikkerheden i gennemsnit over 40%, og mindre end halvdelen af arealet havde usikkerheder under 40%. For JB1 og JB3 lå den gennemsnitlige usikkerhed tæt på det overordnede gennemsnit for alle jordbundstyper

Table 9: Arealfordeling af usikkerhederne for de kortlagte jordbundstyper, indenfor arealet med hver type. Usikkerhederne er opdelt i intervaller på 10%, og søjlerne angiver arealandelen af de pågældende usikkerhedsinterval indenfor den givne jordbundstype. Den sidste søjle angiver den gennemsnitlige usikkerhed indenfor hver jordbundstype.

Usikkerhedsinterval (%)	0-9	10-19	20-29	30-39	40-49	50-59	60-69	70-79	
Jordbundstype	Andel af jordbundstype (%)								Gennemsnit (%)
JB1	0	10	20	34	29	4	2	0	35
JB2	0	1	12	32	34	17	4	0	41
JB3	5	15	18	20	25	13	4	0	34
JB4	27	19	14	14	14	9	3	0	25
JB5	1	4	5	10	19	36	22	2	50
JB6	14	21	19	17	16	10	3	0	29
JB7	21	17	18	19	21	5	0	0	26
JB8	9	24	24	21	19	2	0	0	27
JB12	0	0	0	0	1	49	50	1	60
Alle	15	18	17	18	19	10	3	0	35

Vi undersøgte sammenhængen mellem nøjagtigheden af de kortlagte jordbundstyper og den tilhørende usikkerhed ved at beregne nøjagtigheden af de forudsagte jordbundstyper for hvert usikkerhedsinterval på

baggrund af det uafhængige datasæt. Vi beregnede desuden, hvor ofte den forudsagte jordbundstype grænsede op til den observerede klasse (for eksempel JB1 forudsagt som JB3) eller ej (Tabel 10).

Tabel 10: Nøjagtigheden af de kortlagte jordbundstyper for prøver i det uafhængige datasæt inddelt efter usikkerheden for de kortlagte typer. Søjlen "Tilstødende (%)" angiver, hvor ofte den forudsagte jordbundstype grænsede op til den observerede, imens "Øvrige (%)" angiver, hvor ofte den forudsagte jordbundstype faldt udenfor de tilstødende klasser. Procentangivelserne er vægtede andele af det uafhængige datasæt.

Usikkerhedsinterval (%)	Korrekt (%)	Tilstødende (%)	Korrekt + tilstødende (%)	Øvrige (%)
0 - 9	77	21	98	2
10 - 19	58	35	93	7
20 - 29	50	39	89	11
30 - 39	42	46	88	12
40 - 49	38	48	86	14
50 - 59	30	49	78	22
60 - 69	16	57	73	27
70 - 79	18	35	53	47

Nøjagtigheden af de kortlagte jordbundstyper var generelt mindre for tilfælde med større usikkerheder. Ved usikkerheder under 10% var nøjagtigheden 77%, men ved usikkerheder over 60% var nøjagtigheden under 20%. De forkert forudsagte klasser lå i de fleste tilfælde indenfor en tilstødende jordbundstype. Ved usikkerheder over 70% var der dog en undervægt af tilstødende jordbundstyper blandt de forkert forudsagte klasser. Summen af korrekt forudsagte og tilstødende jordbundstyper var også generelt mindre for tilfælde med større usikkerheder. Ved usikkerheder under 10% var den forudsagte jordbundstype enten korrekt eller indenfor en tilstødende klasse i 98% af alle tilfælde. Ved usikkerheder mellem 70% og 79% var dette imidlertid kun tilfældet for 53% af prøverne. Større usikkerheder angiver således både en større risiko for, at den kortlagte jordbundstype er forkert, og at den med større sandsynlighed vil falde udenfor tilstødende klasser.

9 Konklusion

Sammenlignet med Tekstur2014 har JB2024 en højere opløsning på 10 x 10 m. Det nye kort er desuden udviklet ved brug af satellitprodukter, hvilket har øget nøjagtigheden af kortet og detaljeringsgraden på lokalt plan. Et nyt element ved JB2024 er desuden, at modellerne til udarbejdelsen af kortet indregner effekten af forskellige laboratoriemetoder. Dette giver især udslag i at kortet viser et højere lerindhold i flere områder, sammenlignet med Tekstur2014, hvor laboratoriemetoderne ikke indgik i beregningerne. Den nye kortlægning af lerindholdet medfører, at arealet med JB1 og JB2 er mindre end før, samtidig med, at arealet med JB3, JB4 og JB6 er større. Arealet med JB11 er også mindre end før, som følge af det ændrede indhold af organisk kulstof i Tørv2022, men denne ændring er relativt lille sammenlignet med ændringerne forårsaget af det kortlagte lerindhold.

Vi har anvendt en ændret definition af JB11, der i det tidligere JB-kort var defineret som jorde med >5,87% organisk kulstof. Vi bruger nu i stedet den samme definition som for kulstofrige lavbundsjordene i Tørv2022 (>6% organisk kulstof) (se også Bilag 2). Resultatet af denne ændring er dog relativt lille, da kun få jorde ligger indenfor spændet mellem de to definitioner.

Kortlagene i Tekstur2024 omfatter desuden en beregning af usikkerhederne for de kortlagte teksturfraktioner og jordbundstyper. Kortene angiver dermed ikke blot den forventede tekstur, men også en statistisk baseret vurdering af de forventede afvigelser fra kortet for et givent sted. De nye teksturkort gør det derfor muligt at tage højde for variationer i jordens tekstur på lokalt plan i langt højere grad end før, hvilket vil være til nytte i både et landbrugs- og miljømæssigt øjemed.

10 Referencer

- Adhikari, K., Hartemink, A.E., Minasny, B., Kheir, R.B., Greve, M.B., Greve, M.H., 2014. Digital mapping of soil organic carbon contents and stocks in Denmark. PLOS ONE 9(8), e105519. <https://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0105519>
- Adhikari, K., Kheir, R.B., Greve, M.B., Bøcher, P.K., Malone, B.P., Minasny, B., McBratney, A.B., Greve, M.H., 2013. High-resolution 3-D mapping of soil texture in Denmark. Soil Science Society of America Journal 77(3), 860-876. <https://dx.doi.org/10.2136/sssaj2012.0275>
- Beucher, A., Weber, P.L., Hermansen, C., Pesch, C., Koganti, T., Møller, A.B., Gomes, L.d.C., Greve, M.B., Greve, M.H., 2023. Updating the Danish peatland maps with a combination of new data and modeling approaches. Advisory report from DCA – Danish Centre for Food and Agriculture, Department of Agroecology, Aarhus University, 65 pp.
- Breiman, L., 1996. Bagging predictors. Machine Learning 24(2), 123-140. <https://dx.doi.org/10.1023/A:1018054314350>
- Chen, T., Guestrin, C., 2016. XGBoost. 785-794. <https://dx.doi.org/10.1145/2939672.2939785>
- Efron, B., Tibshirani, R.J., 1994. An introduction to the bootstrap. CRC press.
- Goodwin, L.D., Leech, N.L., 2006. Understanding Correlation: Factors That Affect the Size of r. The Journal of Experimental Education 74(3), 249-266. <https://dx.doi.org/10.3200/jexe.74.3.249-266>
- Greve, M.H., Christensen, O.F., Greve, M.B., Kheir, R.B., 2014. Change in peat coverage in Danish cultivated soils during the past 35 years. Soil Science 179(5), 250-257. <https://dx.doi.org/10.1097/ss.0000000000000066>
- Jakobsen, P.R., Hermansen, B., Tougaard, L., 2015. Danmarks digitale jordartskort 1:25000 version 4.030, GEUS, 29 pp.
- Jensen, J.L., Christensen, B.T., Schjonning, P., Watts, C.W., Munkholm, L.J., 2018. Converting loss-on-ignition to organic carbon content in arable topsoil: pitfalls and proposed procedure. European Journal of Soil Science 69(4), 604-612. <https://dx.doi.org/10.1111/ejss.12558>
- Jensen, J.L., Schjonning, P., Watts, C.W., Christensen, B.T., Munkholm, L.J., 2017. Soil texture analysis revisited: Removal of organic matter matters more than ever. PLOS ONE 12(5), e0178039. <https://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0178039>
- Karger, D.N., Conrad, O., Böhner, J., Kawohl, T., Kreft, H., Soria-Auza, R.W., Zimmermann, N.E., Linder, H.P., Kessler, M., 2017. Climatologies at high resolution for the earth's land surface areas. Scientific Data 4, 170122. <https://dx.doi.org/10.1038/sdata.2017.122>
- Landbrugsstyrelsen, 2024. Kort og Markblokke. <https://lbst.dk/landbrug/kort-og-markblokke>. Tilgået 2024-02-13.
- Levin, G., 2022. Basemap04: Documentation of the data and method for the elaboration of a land use and land cover map for Denmark. Technical Report from DCE – Danish Centre for Environment and Energy, Aarhus University, 77 pp.
- Madsen, H.B., Jensen, N.H., 1985. The establishment of pedological soil data bases in Denmark. Danish Journal of Geography 85(1), 1-8. <https://dx.doi.org/10.1080/00167223.1985.10649211>

- Madsen, H.B., Jensen, N.H., 1996. Soil map of Denmark according to the revised FAO legend 1990. Danish Journal of Geography 96(1), 51-59. <https://dx.doi.org/10.1080/00167223.1996.10649376>
- Madsen, H.B., Nørr, A.H., Holst, K.A., 1992. The Danish soil classification. Atlas of Denmark, 3. The Royal Danish Geographical Society, Copenhagen, Denmark.
- Møller, A.B., Beucher, A., Iversen, B.V., Greve, M.H., 2018. Predicting artificially drained areas by means of a selective model ensemble. Geoderma 320, 30-42. <https://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.01.018>
- Møller, A.B., Beucher, A.M., Pouladi, N., Greve, M.H., 2020. Oblique geographic coordinates as covariates for digital soil mapping. SOIL 6(2), 269-289. <https://dx.doi.org/10.5194/soil-6-269-2020>
- Nelson, D.a., Sommers, L.E., 1983. Total carbon, organic carbon, and organic matter. Methods of soil analysis: Part 2 chemical and microbiological properties 9, 539-579
- Pribyl, D.W., 2010. A critical review of the conventional SOC to SOM conversion factor. Geoderma 156(3-4), 75-83. <https://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2010.02.003>
- Retsinformation.dk, 2020. Bekendtgørelse om jordbundstypeklassifikation. Journalnummer: Miljø- og Fødevaremin., Landbrugsstyrelsen, j.nr. 20-1261-000004. <https://www.retsinformation.dk/eli/lta/2020/1165>. Tilgået 2024-02-23.
- Roberts, D., Mueller, N., Mcintyre, A., 2017. High-dimensional pixel composites from earth observation time series. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 55(11), 6254-6264. <https://dx.doi.org/10.1109/Tgrs.2017.2723896>
- Sechu, G.L., Nilsson, B., Iversen, B.V., Greve, M.B., Børgesen, C.D., Greve, M.H., 2021. A Stepwise GIS Approach for the Delineation of River Valley Bottom within Drainage Basins Using a Cost Distance Accumulation Analysis. Water 13(6). <https://dx.doi.org/10.3390/w13060827>
- Sørensen, N.K., Bülow-Olsen, A., 1994. Plantedirektoratets fælles arbejdsmetoder for jordbundsanalyser, Plantedirektoratet, Lyngby, Denmark.
- Styrelsen for Dataforsyning og Infrastruktur, 2023. Danmarks Højdemodel. <https://sdfi.dk/data-om-danmark/vores-data/danmarks-hoejdemodel>. Tilgået 2024-02-13.
- Svendsen, T.B., Pardini, M., 1987. Sammenhængen mellem jordtype og vedproduktion. Miljøministeriets projektundersøgelser 1986, teknikerrapport, Skov- og Naturstyrelsen, Copenhagen, Denmark.
- Taghizadeh-Toosi, A., Olesen, J.E., Kristensen, K., Elsgaard, L., Østergaard, H.S., Lægdsmand, M., Greve, M.H., Christensen, B.T., 2014. Changes in carbon stocks of Danish agricultural mineral soils between 1986 and 2009. European Journal of Soil Science 65(5), 730-740. <https://dx.doi.org/10.1111/ejss.12169>
- Wang, X., Jin, Y., Schmitt, S., Olhofer, M., 2023. Recent Advances in Bayesian Optimization. ACM Computing Surveys 55(13s), 1-36. <https://dx.doi.org/10.1145/3582078>

11 Bilag 1: Forklarende variabler

Tabel 11: Oversigt over datalag med forklarende variabler anvendt i kortlægningen. DHM2015: Danmarks højdemodel 2015 (Styrelsen for Dataforsyning og Infrastruktur, 2023). IMK: Internet markkort (Landbrugsstyrelsen, 2024).

Navn	Kategori	Forklaring	Kilde
chelsa_bio12_1981_2010_10m	Klima	Årlig nedbør	Karger et al. (2017)
chelsa_bio15_1981_2010_10m	Klima	Årstidsvariationen for nedbøren	Karger et al. (2017)
chelsa_bio16_1981_2010_10m	Klima	Nedbør i vådeste kvartal	Karger et al. (2017)
chelsa_bio17_1981_2010_10m	Klima	Nedbør i tørreste kvartal	Karger et al. (2017)
convergence_index	Terræn	Topografisk konvergensindex	DHM2015
cos_aspect_radians	Terræn	Cosinus til overfladens retning	DHM2015
cross_sectional_curvature	Terræn	Krumning i skråningens retning	DHM2015
cwl_10m_fuzzy	Udgangsmateriale	Historisk tørveforekomst	(Greve et al., 2014)
detrended_3_mean	Terræn	Relativ højde	DHM2015
dhm2015_terraen_10m	Terræn	Højde over havet	DHM2015
filled_s1_baresoil_composite_vh_8_days	Bar jord	Radar barjordskomposit med udfyldte mellemrum	Sentinel-1 + DHI
filled_s1_baresoil_composite_vv_8_days	Bar jord	Radar barjordskomposit med udfyldte mellemrum	Sentinel-1 + DHI
filled_s2_geomedian_b11	Bar jord	Sentinel-2 barjordskomposit med udfyldte mellemrum	Sentinel-2 + DHI
filled_s2_geomedian_b12	Bar jord	Sentinel-2 barjordskomposit med udfyldte mellemrum	Sentinel-2 + DHI
filled_s2_geomedian_b2	Bar jord	Sentinel-2 barjordskomposit med udfyldte mellemrum	Sentinel-2 + DHI
filled_s2_geomedian_b3	Bar jord	Sentinel-2 barjordskomposit med udfyldte mellemrum	Sentinel-2 + DHI
filled_s2_geomedian_b4	Bar jord	Sentinel-2 barjordskomposit med udfyldte mellemrum	Sentinel-2 + DHI
filled_s2_geomedian_b5	Bar jord	Sentinel-2 barjordskomposit med udfyldte mellemrum	Sentinel-2 + DHI
filled_s2_geomedian_b6	Bar jord	Sentinel-2 barjordskomposit med udfyldte mellemrum	Sentinel-2 + DHI
filled_s2_geomedian_b7	Bar jord	Sentinel-2 barjordskomposit med udfyldte mellemrum	Sentinel-2 + DHI
filled_s2_geomedian_b8	Bar jord	Sentinel-2 barjordskomposit med udfyldte mellemrum	Sentinel-2 + DHI
filled_s2_geomedian_b8a	Bar jord	Sentinel-2 barjordskomposit med udfyldte mellemrum	Sentinel-2 + DHI
flooded_depth_10m_mean	Terræn	Dybden af afløbsløse lavninger	SCALGO
flow_accumulation	Terræn	Akkumuleret flow	DHM2015
fuzzy_geology_1	Udgangsmateriale	Flyvesand	(Jakobsen et al., 2015)
fuzzy_geology_10	Udgangsmateriale	Smeltevandssand	(Jakobsen et al., 2015)
fuzzy_geology_11	Udgangsmateriale	Andet udgangsmateriale	(Jakobsen et al., 2015)

fuzzy_geology_2	Udgangsmateriale	Ferskvandsler	(Jakobsen et al., 2015)
fuzzy_geology_3	Udgangsmateriale	Ferskvandssand	(Jakobsen et al., 2015)
fuzzy_geology_4	Udgangsmateriale	Tørv	(Jakobsen et al., 2015)
fuzzy_geology_5	Udgangsmateriale	Havler	(Jakobsen et al., 2015)
fuzzy_geology_6	Udgangsmateriale	Havsand	(Jakobsen et al., 2015)
fuzzy_geology_7	Udgangsmateriale	Moræneler	(Jakobsen et al., 2015)
fuzzy_geology_8	Udgangsmateriale	Morænesand	(Jakobsen et al., 2015)
fuzzy_geology_9	Udgangsmateriale	Smeltevandsler	(Jakobsen et al., 2015)
fuzzy_georeq_1	Udgangsmateriale	Nordvestjylland	(Adhikari et al., 2013)
fuzzy_georeq_10	Udgangsmateriale	Syddanmark	(Adhikari et al., 2013)
fuzzy_georeq_2	Udgangsmateriale	Nordjylland	(Adhikari et al., 2013)
fuzzy_georeq_3	Udgangsmateriale	Vestjylland	(Adhikari et al., 2013)
fuzzy_georeq_4	Udgangsmateriale	Midtjylland	(Adhikari et al., 2013)
fuzzy_georeq_6	Udgangsmateriale	Nordlige Midtjylland	(Adhikari et al., 2013)
fuzzy_georeq_8	Udgangsmateriale	Østdanmark	(Adhikari et al., 2013)
fuzzy_imk_drain_maybe	Arealanvendelse	År med drænkkrævende afgrøder 2011 - 2020	IMK
fuzzy_imk_drain_no	Arealanvendelse	År med ikke drænkkrævende afgrøder 2011 - 2020	IMK
fuzzy_imk_drain_yes	Arealanvendelse	År med måske drænkkrævende afgrøder 2011 - 2020	IMK
fuzzy_imk_grass	Arealanvendelse	År med græs 2011 - 2020	IMK
fuzzy_imk_nonna_sum	Arealanvendelse	År med marker 2011 - 2020	IMK
fuzzy_landscape_1	Udgangsmateriale	Klitter	(Madsen et al., 1992)
fuzzy_landscape_10	Udgangsmateriale	Bakkeø	(Madsen et al., 1992)
fuzzy_landscape_11	Udgangsmateriale	Marsk	(Madsen et al., 1992)
fuzzy_landscape_12	Udgangsmateriale	Grundfjeld	(Madsen et al., 1992)
fuzzy_landscape_2	Udgangsmateriale	Littorinaflade	(Madsen et al., 1992)
fuzzy_landscape_3	Udgangsmateriale	Inddæmmed	(Madsen et al., 1992)
fuzzy_landscape_4	Udgangsmateriale	Yoldia	(Madsen et al., 1992)
fuzzy_landscape_5	Udgangsmateriale	Randmoræne	(Madsen et al., 1992)
fuzzy_landscape_6	Udgangsmateriale	Moræneflade	(Madsen et al., 1992)
fuzzy_landscape_7	Udgangsmateriale	Dødislandskab	(Madsen et al., 1992)
fuzzy_landscape_8	Udgangsmateriale	Tunneldal	(Madsen et al., 1992)

fuzzy_landscape_9	Udgangsmateriale	Smeltevandsflade	(Madsen et al., 1992)
fuzzy_lu_1	Arealanvendelse	By	(Levin, 2022)
fuzzy_lu_2	Arealanvendelse	Landbrug	(Levin, 2022)
fuzzy_lu_3	Arealanvendelse	Skov og natur	(Levin, 2022)
fuzzy_lu_4	Arealanvendelse	Vådmarker	(Levin, 2022)
fuzzy_lu_5	Arealanvendelse	Vand	(Levin, 2022)
imk_drain_maybe	Arealanvendelse	År med drænkkrævende afgrøder 2011 - 2020	IMK
imk_drain_no	Arealanvendelse	År med ikke drænkkrævende afgrøder 2011 - 2020	IMK
imk_drain_yes	Arealanvendelse	År med måske drænkkrævende afgrøder 2011 - 2020	IMK
imk_grass	Arealanvendelse	År med græs 2011 - 2020	IMK
imk_nonna_sum	Arealanvendelse	År med marker 2011 - 2020	IMK
longitudinal_curvature	Terræn	Krumning på tværs af skråningen	DHM2015
maximal_curvature	Terræn	Største krumning	DHM2015
mid_slope_positon	Terræn	Position på skråningen	DHM2015
minimal_curvature	Terræn	Mindste krumning	DHM2015
normalized_height	Terræn	Normaliseret højde	DHM2015
ogc_pi000	Koordinat	Oblique geographic coordinates (OGCs)	(Møller et al., 2020)
ogc_pi016	Koordinat	Oblique geographic coordinates (OGCs)	(Møller et al., 2020)
ogc_pi031	Koordinat	Oblique geographic coordinates (OGCs)	(Møller et al., 2020)
ogc_pi047	Koordinat	Oblique geographic coordinates (OGCs)	(Møller et al., 2020)
ogc_pi062	Koordinat	Oblique geographic coordinates (OGCs)	(Møller et al., 2020)
ogc_pi078	Koordinat	Oblique geographic coordinates (OGCs)	(Møller et al., 2020)
ogc_pi094	Koordinat	Oblique geographic coordinates (OGCs)	(Møller et al., 2020)
ogc_pi109	Koordinat	Oblique geographic coordinates (OGCs)	(Møller et al., 2020)
ogc_pi125	Koordinat	Oblique geographic coordinates (OGCs)	(Møller et al., 2020)
ogc_pi141	Koordinat	Oblique geographic coordinates (OGCs)	(Møller et al., 2020)
ogc_pi156	Koordinat	Oblique geographic coordinates (OGCs)	(Møller et al., 2020)
ogc_pi172	Koordinat	Oblique geographic coordinates (OGCs)	(Møller et al., 2020)
ogc_pi188	Koordinat	Oblique geographic coordinates (OGCs)	(Møller et al., 2020)
ogc_pi203	Koordinat	Oblique geographic coordinates (OGCs)	(Møller et al., 2020)
ogc_pi219	Koordinat	Oblique geographic coordinates (OGCs)	(Møller et al., 2020)

ogc_pi719	Koordinat	Oblique geographic coordinates (OGCs)	(Møller et al., 2020)
ogc_pi734	Koordinat	Oblique geographic coordinates (OGCs)	(Møller et al., 2020)
ogc_pi750	Koordinat	Oblique geographic coordinates (OGCs)	(Møller et al., 2020)
ogc_pi766	Koordinat	Oblique geographic coordinates (OGCs)	(Møller et al., 2020)
ogc_pi781	Koordinat	Oblique geographic coordinates (OGCs)	(Møller et al., 2020)
ogc_pi797	Koordinat	Oblique geographic coordinates (OGCs)	(Møller et al., 2020)
ogc_pi812	Koordinat	Oblique geographic coordinates (OGCs)	(Møller et al., 2020)
ogc_pi828	Koordinat	Oblique geographic coordinates (OGCs)	(Møller et al., 2020)
ogc_pi844	Koordinat	Oblique geographic coordinates (OGCs)	(Møller et al., 2020)
ogc_pi859	Koordinat	Oblique geographic coordinates (OGCs)	(Møller et al., 2020)
ogc_pi875	Koordinat	Oblique geographic coordinates (OGCs)	(Møller et al., 2020)
ogc_pi891	Koordinat	Oblique geographic coordinates (OGCs)	(Møller et al., 2020)
ogc_pi906	Koordinat	Oblique geographic coordinates (OGCs)	(Møller et al., 2020)
ogc_pi922	Koordinat	Oblique geographic coordinates (OGCs)	(Møller et al., 2020)
ogc_pi937	Koordinat	Oblique geographic coordinates (OGCs)	(Møller et al., 2020)
ogc_pi953	Koordinat	Oblique geographic coordinates (OGCs)	(Møller et al., 2020)
ogc_pi969	Koordinat	Oblique geographic coordinates (OGCs)	(Møller et al., 2020)
ogc_pi984	Koordinat	Oblique geographic coordinates (OGCs)	(Møller et al., 2020)
positive_openness	Terræn	Positiv åbenhed	DHM2015
profile_curvature	Terræn	Krumning af skråningsprofil	DHM2015
rvb_bios	Terræn	Ådale	(Sechu et al., 2021)
s2_count_max10_fuzzy	Bar jord	Antal billeder med bar jord (maksimum sat til 10)	Sentinel-2 + DHI
s2_geomedian_20180408_20180515_b11	Tidsserie	Sentinel-2 tidskomposit, 8. april til 15. maj, 2018	Sentinel-2 + DHI
s2_geomedian_20180408_20180515_b12	Tidsserie	Sentinel-2 tidskomposit, 8. april til 15. maj, 2018	Sentinel-2 + DHI
s2_geomedian_20180408_20180515_b2	Tidsserie	Sentinel-2 tidskomposit, 8. april til 15. maj, 2018	Sentinel-2 + DHI
s2_geomedian_20180408_20180515_b3	Tidsserie	Sentinel-2 tidskomposit, 8. april til 15. maj, 2018	Sentinel-2 + DHI
s2_geomedian_20180408_20180515_b4	Tidsserie	Sentinel-2 tidskomposit, 8. april til 15. maj, 2018	Sentinel-2 + DHI
s2_geomedian_20180408_20180515_b5	Tidsserie	Sentinel-2 tidskomposit, 8. april til 15. maj, 2018	Sentinel-2 + DHI
s2_geomedian_20180408_20180515_b6	Tidsserie	Sentinel-2 tidskomposit, 8. april til 15. maj, 2018	Sentinel-2 + DHI
s2_geomedian_20180408_20180515_b7	Tidsserie	Sentinel-2 tidskomposit, 8. april til 15. maj, 2018	Sentinel-2 + DHI
s2_geomedian_20180408_20180515_b8	Tidsserie	Sentinel-2 tidskomposit, 8. april til 15. maj, 2018	Sentinel-2 + DHI
s2_geomedian_20180408_20180515_b8a	Tidsserie	Sentinel-2 tidskomposit, 8. april til 15. maj, 2018	Sentinel-2 + DHI
s2_geomedian_20180601_20180630_b11	Tidsserie	Sentinel-2 tidskomposit, juni, 2018	Sentinel-2 + DHI

s2_geome-dian_20180601_20180630_b12	Tidsserie	Sentinel-2 tidskomposit, juni, 2018	Sentinel-2 + DHI
s2_geome-dian_20180601_20180630_b2	Tidsserie	Sentinel-2 tidskomposit, juni, 2018	Sentinel-2 + DHI
s2_geome-dian_20180601_20180630_b3	Tidsserie	Sentinel-2 tidskomposit, juni, 2018	Sentinel-2 + DHI
s2_geome-dian_20180601_20180630_b4	Tidsserie	Sentinel-2 tidskomposit, juni, 2018	Sentinel-2 + DHI
s2_geome-dian_20180601_20180630_b5	Tidsserie	Sentinel-2 tidskomposit, juni, 2018	Sentinel-2 + DHI
s2_geome-dian_20180601_20180630_b6	Tidsserie	Sentinel-2 tidskomposit, juni, 2018	Sentinel-2 + DHI
s2_geome-dian_20180601_20180630_b7	Tidsserie	Sentinel-2 tidskomposit, juni, 2018	Sentinel-2 + DHI
s2_geome-dian_20180601_20180630_b8	Tidsserie	Sentinel-2 tidskomposit, juni, 2018	Sentinel-2 + DHI
s2_geome-dian_20180601_20180630_b8a	Tidsserie	Sentinel-2 tidskomposit, juni, 2018	Sentinel-2 + DHI
s2_geome-dian_20180701_20180731_b11	Tidsserie	Sentinel-2 tidskomposit, juli, 2018	Sentinel-2 + DHI
s2_geome-dian_20180701_20180731_b12	Tidsserie	Sentinel-2 tidskomposit, juli, 2018	Sentinel-2 + DHI
s2_geome-dian_20180701_20180731_b2	Tidsserie	Sentinel-2 tidskomposit, juli, 2018	Sentinel-2 + DHI
s2_geome-dian_20180701_20180731_b3	Tidsserie	Sentinel-2 tidskomposit, juli, 2018	Sentinel-2 + DHI
s2_geome-dian_20180701_20180731_b4	Tidsserie	Sentinel-2 tidskomposit, juli, 2018	Sentinel-2 + DHI
s2_geome-dian_20180701_20180731_b5	Tidsserie	Sentinel-2 tidskomposit, juli, 2018	Sentinel-2 + DHI
s2_geome-dian_20180701_20180731_b6	Tidsserie	Sentinel-2 tidskomposit, juli, 2018	Sentinel-2 + DHI
s2_geome-dian_20180701_20180731_b7	Tidsserie	Sentinel-2 tidskomposit, juli, 2018	Sentinel-2 + DHI
s2_geome-dian_20180701_20180731_b8	Tidsserie	Sentinel-2 tidskomposit, juli, 2018	Sentinel-2 + DHI
s2_geome-dian_20180701_20180731_b8a	Tidsserie	Sentinel-2 tidskomposit, juli, 2018	Sentinel-2 + DHI
saga_wetness_index	Terræn	Vådshedsindeks fra SAGA GIS	dhm2015
sin_aspect_radians	Terræn	Sinus til overfladens retning	dhm2015
slope	Terræn	Hældning	DHM2015
slope_height	Terræn	Skråningens højde	DHM2015
standardized_height	Terræn	Standardiseret højde	DHM2015
tangential_curvature	Terræn	Tangentiel krumning	DHM2015
terodep10m	Terræn	Erosion som følge af pløjning	DHM2015
valley_depth	Terræn	Daldybde	DHM2015
vdtochn	Terræn	Lodret afstand til overfladevand	DHM2015
wetlands_10m_fuzzy	Udgangsmateriale	Lavbundsarealer	
wi_values_wetness	Terræn	Vådshedsindeks (normal udregning)	DHM2015

12 Bilag 2: Definition af jordbundstyper

Tabel 12: Definitionen af jordbundstyper ud fra jordens tekstur i JB2024. Tomme celler indikerer, at den pågældende teksturfraktion ikke indgår i definitionen af en given jordbundstype. Definitionen af JB11 er ændret fra JB2014, hvor den før var defineret ved et humusindhold over 10%, ud fra en antagelse om, at humus indeholder 58,7% organisk kulstof (Madsen et al., 1992). Ændringen er indført for at sikre sammenhæng med definitionen af organiske jorde i Tørv2022 (Beucher et al., 2023).

JB-nummer	Procent vægt af mineralfraktionen				Procent af jordens tørvægt	
	Ler (< 2 µm)	Silt (2 – 20 µm)	Finsand (20 – 200 µm)	Sand i alt (20 – 2000 µm)	Organisk kulstof	Kalk
1	0 – 5	0 – 20	0 – 50	75 – 100	≤ 6	≤ 10
2	0 – 5	0 – 20	50 – 100	75 – 100	≤ 6	≤ 10
3	5 – 10	0 – 25	0 – 40	65 – 95	≤ 6	≤ 10
4	5 – 10	0 – 25	40 – 95	65 – 95	≤ 6	≤ 10
5	10 – 15	0 – 30	0 – 40	55 – 90	≤ 6	≤ 10
6	10 – 15	0 – 30	40 – 90	55 – 90	≤ 6	≤ 10
7	15 – 25	0 – 35		40 – 85	≤ 6	≤ 10
8	25 – 45	0 – 45		10 – 75	≤ 6	≤ 10
9	45 – 100	0 – 50		0 – 55	≤ 6	≤ 10
10	0 – 50	20 – 100		0 – 80	≤ 6	≤ 10
11					> 6	
12					≤ 6	> 10

13 Bilag 3: Oversigt over kort og betegnelser

Tabel 13: Oversigt over betegnelserne for de kort, der omtales i notatet. Tabellen angiver betegnelsen for hver kortsamling, de kortlagte jordbundsegenskaber og dybder i hver kortsamling samt en uddybende forklaring af kortenes udarbejdelse, navngivning og sammenhæng med de øvrige kort. Kort over indholdet af organisk kulstof er som udgangspunkt navngivet efter prøvernes udtagningsår, da indholdet af organisk kulstof kan ændres betydeligt afhængigt af årstallet (Taghizadeh-Toosi et al., 2014). Kort over jordens tekstur er derimod som udgangspunkt navngivet efter udgivelsesåret, da jordens tekstur i de fleste tilfælde er stabil over tid.

Betegnelse	Kortlagte jordbundsegenskaber	Kortlagte dybder	Forklaring
Tekstur2014	Ler Silt Finsand Grovsand Organisk kulstof Jordbundstype	0 – 30 cm 30 – 60 cm 60 – 100 cm 100 – 200 cm	Kort over jordens tekstur, indholdet af organisk kulstof og jordbundstyper udarbejdet i 30,4x30,4 m opløsning efter metoder beskrevet i Adhikari et al. (2013; 2014) ved brug af jordprøver fra Den Danske Jordklassificering (Madsen et al., 1992), Den Danske Jordprofildatabase (Madsen og Jensen, 1985) og SINKS-undersøgelsen (Greve et al., 2014). Kortene dækker hele landet. Kortene er navngivet efter udgivelsesåret.
Tørv2022	Organisk kulstof	0 – 30 cm	Kort over indholdet af organisk kulstof i danske lavbundsjord i 10x10 m opløsning, med tilhørende usikkerheder, udarbejdet og beskrevet af Beucher et al. (2023). Kortene dækker historiske tørveområder samt lavbundsjord med mere end 6% organisk kulstof. Kortene er navngivet efter udtagningsåret for de senest udtagne prøver.
Tekstur2024	Ler Silt Finsand Grovsand Organisk kulstof Kalk	0 – 30 cm 30 – 60 cm 60 – 100 cm 100 – 200 cm	Kort over jordens tekstur, samt indholdet af organisk kulstof og kalk i 10x10m opløsning, med tilhørende usikkerheder, udarbejdet i 2024 i projektet DIGIJORD. Kortene er udarbejdet ved brug af de samme jordprøver, der indgik i Tekstur2014 samt yderligere datasæt fra to skovundersøgelser (Svendsen og Pedini, 1987; Madsen et al., 1992) og et datasæt stillet til rådighed af SEGES i forbindelse med DIGIJORD. Kortene dækker hele landet med undtagelse af vandområder, befæstede arealer, og byområder. Kortene er navngivet efter udgivelsesåret.
Kulstof2022	Organisk kulstof	0 – 30 cm	Sammenhængende kort over jordens indhold af organisk kulstof i 10x10 m opløsning, udarbejdet i 2024 ved kombination af kort fra Tørv2022 og Tekstur2024. Kortet er navngivet efter udtagningsåret for de senest udtagne prøver.

JB2024	Jordbundstype	0 – 30 cm 30 – 60 cm 60 – 100 cm 100 – 200 cm	Kort over jordbundstyper i 10 x 10 m opløsning udarbejdet i 2024 på baggrund af Kulstof2022 og Tekstur2024. I dybden 0 – 30 cm er jordbundstypen beregnet ud fra den kortlagte tekstur og kalkindhold fra Tekstur2024 samt indholdet af organisk kulstof fra Kulstof2022. For de øvrige dybder er jordbundstypen udelukkende beregnet på baggrund af kort fra Tekstur2024, da Kulstof2022 ikke dækker disse dybder. Kortene er navngivet efter udgivelsesåret.
--------	---------------	--	--