



Vejledning til kortlægning af redoxgrænse og bereg- ning af tykkelsen af akkumuleret reduceret ler

Udgiver: Miljøstyrelsen

Redaktion: Anne Rørbæk Nielsen, Anders Pytlich og Jennie Bjerring

ISBN: 978-87-7564-075-1

Indhold

1.	Indledning	4
2.	Kortlægning af redoxgrænsen og -fladen	5
2.1	Opstart af redoxkortlægningen	5
2.2	Farveskift i lagbeskrivelser	6
2.2.1	Registrering af farveskift	7
2.2.1.1	Flere farveskift	8
2.2.1.2	Metadatakategorier	8
2.2.1.3	Lithologier med okker eller dominerende egenfarve	10
2.2.1.4	Geotekniske boringer	11
2.2.1.5	Støtteparametre til vurdering af farveskift	11
2.2.1.6	Gamle boringer	12
2.2.2	Udfyldelse af udleveret Excel-ark	13
2.3	Kvalitetssikring af redoxpunkter	14
2.4	Afsluttende erfaringsopsamling	14
2.5	Beregning af redoxfladen	14
2.5.1	Kvalitetssikring af den beregnede redoxflade	16
2.5.2	Den endelige beregnede redoxflade	17
3.	Aflevering af data til GRUKOS	18
4.	Beregning af tykkelsen af akkumuleret reduceret ler	19
4.1	Eksempel på beregning i GeoScene3D	19
5.	Referencer	20
Bilag 1.MST script til beregning af tykkelsen af øverste sand-/kalklag og lerlag		21
Bilag 2.Eksempler på vurdering af redoxgrænsen		24

1. Indledning

Denne vejledning beskriver Miljøstyrelsens procedure i forbindelse med kortlægning af redoxgrænsen, beregning af redoxfladen samt beregning af tykkelsen af akkumuleret reduceret ler, som udføres som en del af Miljøstyrelsens Grundvandskortlægning.

Redoxgrænsen bestemmes som det øverste farveskift fra gullige, røde og brune farvenuancer (oxideret) til grålige, blålige, sorte og grønne farvenuancer (reduceret) sedimentfarve i hver boring. Redoxgrænsen adskiller jordlag, som har opbrugt evnen til at reducere nitrat, fra de jordlag, som stadig har kapacitet til at nedbryde nitrat. Dybden til redoxgrænsen øges derfor i takt med at nitratreduktionskapaciteten opbruges [1]. Dybden til redoxgrænsen benyttes til beregning af tykkelsen af akkumuleret reduceret ler til brug i sårbarhedsvurdering [2].

I kapitel 2 beskrives metoden for kortlægning og kvalitetssikring af redoxgrænsen vha. farveskift i boringer og beregning af redoxfladen via machine learning algoritme hos GEUS samt kvalitetssikring af denne. I kapitel 3 beskrives, hvilke data der skal afleveres til Miljøstyrelsen efter denne kortlægning. I kapitel 4 beskrives metoden for beregning af tykkelsen af akkumuleret reduceret ler.

2. Kortlægning af redoxgrænsen og -fladen

Når redoxgrænsen skal bestemmes, ses der på de gennemborede lags farve og farveskift, da redoxforholdene i sedimentet afspejles i farverne på coatingen af mineralkorn, som skyldes udfældning af specielt jernforbindelser [1].

Kortlægningen af redoxgrænsen foretages ved en manuel gennemgang af jordprøvebeskrivelser fra borer inden for kortlægningsområdet og herefter beregnes redoxfladen i en tolknings- og interpoleringsproces i redoxalgoritmen RedoxML fra GEUS [3]. Den modellerede redoxflade kan herefter anvendes til beregningen af tykkelsen af akkumuleret reduceret ler (se kapitel 4).

Farvebeskrivelser og farveskift fra jordprøver udgør det bedste direkte datagrundlag til bestemmelse af redoxgrænsen. Dette data indsamles og gennemgås derfor for at sikre bedst mulig vurdering. I algoritmen fra GEUS bruges også beregnede og modellerede data, såsom ler-/sandtykkelse, geomorfologi, jordarter, dybden til grundvandsspejlet m.m. (se afsnit 2.5).

2.1 Opstart af redoxkortlægningen

Redoxkortlægningen skal indledes med en screening af geologien, hydrologi og grundvandskemien i kortlægningsområdet. Dette for at få en forståelse af området, og blive opmærksom på specifikke forhold inden for kortlægningsområdet f.eks.:

- Hvilke aflejringer kan der forventes at findes i kortlægningsområdet.
- Vurderes det, at kalkindholdet kan bruges som en støtteparameter i vurderingen.
- Kan der være gravet meget tørv væk i forbindelse med etablering af by og infrastruktur.
- Findes der i kortlægningsområdet sedimenter, som kan have oxiderede farver i et reduceret miljø, som dermed ikke skal tolkes som oxiderede.
- Forventes sedimenterne at være grov- eller finkortet.
- Kan det forventes, at der i kortlægningsområdet terrænnært findes unge aflejringer med et højt indhold af organisk stof og dermed stor reduktionskapacitet (f.eks. marine aflejringer eller gammel søbund).
- Hvilken arealanvendelse forventes der at være inden for kortlægningsområdet.
- Forventes grundvandsspejlet at ligge højt eller lavt.

Til denne opstart kan nedenstående data inddrage. Listen er ikke udtømmende.

- Jordartskortet (hvilke aflejringer findes der terrænnært).
- Geologisk forståelsesmodel samt magasinudbredelseskort, lertykkelseskort fra nuværende eller tidligere kortlægning.
- Geomorfologisk kort.
- Markkort (hvor stor kan nitratudvaskningen forventes at være).
- Råvandsanalyser (er grundvandet reduceret eller oxideret).
- Tidligere sårbarhedskortlægninger (kan der forventes et sammenhængene lerlag, er tykkelsen varierende m.m.)
- Dybden til mest terrænnære grundvandsspejl.

Denne indledende screening skal kombineres med en indledende kvalitetssikring/dialog omkring redoxvurderingerne. Når de første 10 % eller de første 200 redoxvurderinger er lavet skal disse kvalitetssikres af Miljøstyrelsen eller en anden rådgiver, og der skal tages en dialog omkring den videre redoxkortlægning. Skal der f.eks. ske afvigelse fra de gængse retningslinjer, Er der specifikke forhold i dette område, der skal være særlig opmærksomhed omkring. Disse konklusioner skal også indskrives i screeningen.

2.2 Farveskift i lagbeskrivelser

Datagrundlaget omfatter som nævnt lagfølge- og farvebeskrivelser fra Jupiterdatabasen. Beskrivelse af den gennemborede lagfølge udgør det primære datagrundlag for bestemmelsen af redoxdybden. I den lithologiske beskrivelse er det specielt beskrivelsen af jordprøvernes farver, som er vigtige, men lithologierne kan også med fordel inddrages i vurderingen. Princippet ved at anvende de gennemborede lags farve til bestemmelse af redoxgrænsen bygger på, at der er en høj grad af sammenhæng mellem redoxforholdene og farven i geologiske sedimenter.

Der kan i et kortlægningsområde indgå mange tusinde borer, og derfor har det været forsøgt at foretage en automatiseret bestemmelse af farveskift i borer. Det er imidlertid erfaringen, at en fuldautomatiseret gennemgang ikke er effektiv, da den har mange fejl og mangler. Den primære grund til dette er, at der kan være stor uoverensstemmelse imellem de oplysninger, som er tabellært lagret i Jupiterdatabasen, og i de oplysninger, som fremgår af de analoge brøndborerjournaler, som kan downloades som pdf fra Jupiterdatabasen.

Førstnævnte oplysninger er traditionelt indtastet på baggrund af prøvebeskrivelser hos GEUS – en beskrivelse, som i mange tilfælde er foretaget efter opboringen. Brøndborerjournalerne er derimod oftest foretaget i forbindelse med opboring. Specielt med hensyn til netop farvebeskrivelserne er dette en væsentlig faktor, da farverne efter iltning og evt. udtørring kan forandre sig meget inden GEUS' prøvebeskrivelse.

Ydermere er mange borerers lagfølge desuden ikke indtastet, og de fremgår kun af dokumenter som borerapporter, geotekniske prøvebeskrivelser eller jordprøvebeskrivelser, der er tilknyttet borerne som indscannede pdf-filer.

En manuel gennemgang af farveskift i borerne ud fra brøndborerjournaler og geologiske beskrivelser giver derfor det mest valide resultat.

I dette afsnit gennemgås metoden og proceduren for en manuel gennemgang af farveskift i borer.

Grundvandskortlægningen har udarbejdet et script, der udtrækker alle relevante boringsoplysninger til de prædefinerede Excel-ark og borerapporter, jordprøvebeskrivelser m.m. som pdf. Scriptet ligger ikke offentlig tilgængeligt, men hvis rådgiver skal lave gennemgang af farvebeskrivelser for et kortlægningsområde, skal ovennævnte udtræk rekvireres hos Grundvandskortlægningen.

2.2.1 Registrering af farveskift

Farvebeskrivelserne i borerapporterne er tolket i henhold til Geovejledning 1 [4] og Geovejledning 2018/2 [1] og omsættes til redoxforhold ud fra følgende princip.

- Røde og gule farver og blandingsnuancer heraf antages at repræsentere oxiderede lag.
- Grå, grønlig, blålig, sorte og blandingsnuancer heraf antages at repræsentere reducerede lag.
- Desuden registreres aflejringer med højt organisk materiale som f.eks. tørv og gytje også som udgangspunkt som reducerede lag, med mindre der f.eks. er oxiderede aflejringer under eller laget er tyndt.
- Brune farver antages som udgangspunkt også at repræsentere oxiderede lag. Der bør dog være ekstra opmærksomhed omkring den brune farve. Da mange aflejringer kan have en brun egenfarve uden at være oxideret (se afsnit 2.2.1.3).

Markant ændring i farvebeskrivelsen mellem to prøver kan indikere et redoxskift. For eksempel kan et skift fra brun til grå eller fra gulbrun til brungrå angive et redoxskift og dermed fastsættes redoxgrænsen ved dette skift.

Det antages altid, at lagene i en boring er oxiderede fra terræn og ned til en vis dybde reducerede. Første farveskift vil derfor principielt altid være fra oxideret til reduceret og i tilfælde af, at lagene er reducerede fra terræn angives dybden til 0 m.u.t.

Ved blandingsfarver som f.eks. brungrå eller gråbrun antages som udgangspunkt sidstnævnte farve for bestemmende jævnfør [4]. Erfaringer har dog vist, at nogle brøndborere bruger den førstnævnte farve som dominerende. Ydermere kan nogle miocæne aflejringer være beskrevet som gråbrune, grundet deres egenfarve, selvom de vurderes at være reducerede, se nærmere i afsnit 2.2.1.3.

I stedet for at lægge fokus udelukkende på farvebetegnelsen, bør der også være fokus på, hvornår eller om der er et tydeligt skift i aflejringerne f.eks. med inddragelse af støtteparametrene beskrevet i afsnit 2.2.1.4. Er det ikke muligt at finde en tydelig overgang, kan farveskiftet ikke fastsættes. Boringer med blandingsfarver, hvor der ikke er et tydeligt skift kan også tildeles en midlertidig metadatokategori, se afsnit 2.2.1.2, og senere afklare, hvad metadatokategorien skal være endeligt.

I Bilag 2 er der angivet eksempler på redoxvurderinger i forhold til tolkning af blandingsfarver se særligt boring med DGU nr. 48.822, 49.377, 88.1450 og 200.6842.

I gennemgangen af farveskift i borer vægtes som udgangspunkt brøndborerrapporterne samt øvrige indscannede, relevante dokumenter højt, men disse skal sammenstilles med GEUS' jordprøvebeskrivelser. I tilfælde, hvor der findes en farvebeskrivelse fra både brøndborer og GEUS, følges følgende retningslinjer:

- Når brøndborer og GEUS er enige om farvebeskrivelsen af oxiderede og reducerede lag benyttes denne information direkte.
- Hvis brøndborer beskriver oxiderede farver og GEUS beskriver reducerede farver lægges der som udgangspunkt vægt på GEUS' beskrivelse
- Hvis brøndborer beskriver reducerede farver og GEUS beskriver oxiderede farver, lægges der vægt på brøndborers beskrivelse

Såfremt der kun findes en farvebeskrivelse fra GEUS, skal der laves en konkret vurdering af om der f.eks. er risiko for, at jordprøverne er blevet oxideret og derved giver et misvisende billede.

2.2.1.1 Flere farveskift

Hvis der kun er ét farveskift i en boring (fra oxideret til reduceret), kan dybden for farveskiftet anvendes som redoxdybden. I nogle borer findes der flere farveskifter (fra oxideret til reduceret, herefter fra reduceret til oxideret m.m.), som er tegn på, at redoxforholdene skifter flere gange gennem jordlagene. Således kan reducerede lag underlejres af oxiderede lag, som endnu dybere igen underlejres af reducerede lag. Hvis der vurderes, at være flere farveskifter i en boring registreres disses dybder i det udleverede Excel-ark (se afsnit 2.2.2).

For at en boring registreres med flere farveskift skal der være et tydeligt farveskift, og en vis afstand mellem farveskiftene, således der er sikkerhed omkring, at der er flere farveskift og ikke bare en overgangsfase fra oxiderede til reducerede aflejringer. I Bilag 2 findes en liste med eksempler på borer med flere farveskift.

2.2.1.2 Metadatakategorier

Metadatakategorier, der skal benyttes i forbindelse med registreringen af farveskift i en boring, kan ses i TABEL 1. Under tabellen fremgår en yderligere beskrivelse af metadatakategorierne og i Bilag 2 findes en række eksempler på redoxvurderinger og brug af metadatakategorierne.

TABEL 1. Oversigt over de metadatakategorier, der skal benyttes ved registrering af farveskift.

Metadatakategori	Beskrivelse
N/A	Boringen har mangelfuld eller ingen farvebeskrivelse, og den kan ikke anvendes. Farvebeskrivelserne gør det ikke muligt at vurdere et farveskift.
GOD	Farveskiftet er tydeligt og dybden er sikker.
MAX	Det faktiske farveskifte kan ikke observeres, men findes maksimalt i den angivne dybde. Den faktiske dybde kan ligge tættere på terræn. F.eks. hvis der er etableret en boring i en gammel brønd.
MIN	Det faktiske farveskifte kan ikke observeres, men findes minimum i den angivne dybde. Den faktiske dybde kan ligge dybere nede. F.eks. under boringsdybde.
INTERVAL	Farveskifte sker inden for et tykt lag, hvor der ikke er udtaget jordprøver. INTERVAL kan også bruge i situationer, hvor der er en tydelig oxideret aflejring i toppen og en tydelig reduceret aflejring længere nede, mens der i mellem er blandingsfarver eller skift mellem reducerede og oxiderede farver.

Metadatakategorierne anvendes, når redoxfladen skal beregnes i algoritmen RedoxML fra GEUS. Algoritmen RedoxML er en machine learning algoritme der trænes til at beskrive sammenhængene mellem redoxgrænsen tolket ud fra boringsbeskrivelser og de i modellen anvendte forklarende variable. Modellen anvender også en geostatisk model til at beskrive afvigelserne mellem de tolkede og modelberegnedes redoxgrænser. Redoxtolkninger med kategorien "GOD" bruges som træningsdata til at gen-træne modellen i algoritmen. Tolkninger med kategorierne "MIN, MAX og INTERVAL" inkorporeres indirekte i modellen, idet de anvendes i den geostatisk model, der beskriver residualerne af modellen.

Hvis modellen er i overensstemmelse med tolkningen, f.eks. hvis en maksimal værdi er større end modellen eller hvis modellen ligger inden for intervallet, bliver datapunktet ikke brugt og betragtes som irrelevant i den efterfølgende geostatistiske modellering. Hvis det ikke er tilfældet, f.eks. hvis en minimal værdi er dybere end modellen, eller hvis modellen ligger uden for intervallet, bliver denne information brugt i den geostatistiske model til at korrigere modellen i algoritmen. En mere detaljeret beskrivelse af RedoxML værktøjet, og hvordan metadatakategorierne bliver anvendt, kan findes i GEUS' notat [3].

Metadatakategori - GOD

Ved tydelige farveskift fra oxiderede til reducerede farver anvendes metadatakategorien GOD. Et tydeligt farveskift kan være fra f.eks. gul til grå. Der kan godt være et tydeligt farveskift mellem blandingsfarver, her skal metadatakategorien GOD også anvendes, der bør dog være opmærksomhed omkring de forhold, som er nævnt i afsnit 2.2.1.

Flere forhold kan dog medføre, at farveskiftet ikke er tydeligt, og metadatakategorien skal derfor ikke være GOD.

Nedenfor gennemgås, hvornår metadatakategorierne N/A, MAX, MIN og INTERVAL skal benyttes. Eksempler på anvendelse af metadatakategorierne findes i Bilag 2.

Metadatakategori - N/A

Hvis borer har mangelfuld eller ingen farvebeskrivelse anvendes metadatakategorien N/A. Ligeledes anvendes N/A, hvis farvebeskrivelserne ikke gør det muligt at vurdere et farveskift f.eks. hvis farvebeskrivelsen udelukkende består af blandingsfarver uden markante skift, og støtteparametrene (se afsnit 2.2.1.4) heller ikke giver mere viden om placering af redoxgrænsen.

Metadatakategori - MAX

En del borer er udført i ældre brønde, hvorfor lagserien ikke er beskrevet for den øvre del af boringen, som svarer til den oprindelige dybde af brønden. Hvis jordlagene i boringen er reduceret fra bunden af brønden, betyder det, at farveskiftet findes et sted mellem terræn og bunden af brønden. Tilsvarende ses ofte beskrivelser, hvor der ikke er angivet farver i de øvre dele af boringen, og hvor første farvebeskrevne lag er beskrevet som reduceret. I disse tilfælde anvendes bunden af brønden/top af første farvebeskrevne lag som redoxdybden med metadatakategorien MAX. Yderligere anvendes MAX, hvis lagfølgen fra terræn ned til den angivne dybde for farveskift udelukkende er beskrevet som fyld og efterfølgende aflejring er reduceret. Årsagen hertil er, at aflejringernes farve ofte kan være påvirket af menneskelig aktivitet, hvorfor farvebeskrivelserne heraf ikke kan give information om redoxforholdene. Farveskiftet findes således maksimalt i denne dybde og sandsynligvis tættere på terræn.

Metadatakategori - MIN

Nogle borer gennemborer slet ikke reducerede lag, ofte fordi de ikke er udført særligt dybt. I disse tilfælde angives boredybden som redoxdybden med metadatakategorien MIN. Således findes redoxdybden mindst i den angivne dybde og sandsynligvis endnu dybere.

Metadatakategori – INTERVAL

For nogle borer kan farveskift ske inden for et interval, hvor der ikke er udtaget jordprøver, eller hvor lagfølgen ikke har farvebeskrivelser. I disse tilfælde anvendes metadatakategorien INTERVAL. Det samme er tilfældet, hvis der sker et gradvist skift fra oxiderede farver til reducerede farver over et længere interval. INTERVAL kan også bruges i situationer, hvor der er en tydelig oxideret aflejring i den øvre del af boringen og en tydelig reduceret aflejring længere nede, hvor der herimellem er blandingsfarver eller skift mellem reducerede og oxiderede farver. Top og bund af intervallet udfyldes ligeledes i det udleverede Excel-ark.

Anvendelse af midlertidig metadatakategori

I nogle tilfælde kan det være svært at afgøre, hvilken metadatakategori en boring skal have. I sådanne tilfælde anbefales det at give boringen en midlertidig metadatakategori ved at sætte et M foran den metadatakategori, der vurderes mest korrekt f.eks. "M_GOD". Når man har været igennem alle tolkningerne, kan det give mening at plote redoxgrænserne i et GIS-kort og kigge på omkringliggende borer og andre støtteparametre og herefter beslutte, hvad den

endelige metadatakategori skal være. Er der fortsat tvivl om redoxgrænsens placering bør boringen tildeles metadatakategorien N/A. Disse midlertidige kategorier kan også anvendes til vurdere, om det giver værdi at bruge ekstra tid på at anvende støtteparametre til at fastlægge redoxgrænsen for f.eks. borer med blandingsfarver. Såfremt der er mange andre borer i nærområdet, som har en tydelig og god redoxgrænse, giver det ikke værdi at bruge mere tid på at fastlægge redoxgrænsen for den ene boring og metadatakategorien skal blot sættes til N/A.

2.2.1.3 Lithologier med okker eller dominerende egenfarve

Visse lithologier har så kraftig og markant en egenfarve, at farven ikke nødvendigvis repræsenterer redoxforholdene. Det er derfor nødvendigt at inddrage lithologiske oplysninger og ikke ukritisk omsætte farver til redoxforhold. Nedenfor er beskrevet eksempler på aflejringer med markante egenfarver, der ikke nødvendigvis repræsenterer redoxforholdene.

Okker og pyrit

Indhold af okker og pyrit i borer giver information om iltningsforholdene i aflejringerne, da pyrit og opløst jern omdannes til okker ved iltning. For disse aflejringer bestemmes redoxgrænsen efter følgende retningslinjer:

- Ved brune, røde og gule farver i aflejringer samt indhold af okker anses aflejringen for oxideret.
- Ved grå, blå, grønne og sorte farver i aflejringerne samt indhold af okker anses aflejringen for oxideret, da okker ikke vil være tilstede, medmindre laget er blevet iltet.
- Ved brune, røde og gule farver i aflejringerne samt indhold af pyrit anses aflejringen for oxideret, da der til trods for iltning af aflejringerne stadig kan forekomme mindre mængder af pyrit, som ikke er omdannet til okker.
- Ved grå, blå, grønne og sorte farver i aflejringerne samt indhold af pyrit anses aflejringen for reduceret.

Hvide sandaflejringer

Sandaflejringer kan i nogle tilfælde beskrives som værende hvide eller som hvidt strandsand. Farven hvid siger ikke noget om redoxforholdet. Såfremt der er hvidt sand mellem oxiderede lag, antages det hvide sand også at være oxideret. Tilsvarende antages hvidt sand mellem reducerede lag også at være reducerede. Er der udelukkende oplysninger omkring hvidt sand, kan der ikke angives en redoxgrænse om metadatakategorien skal derfor være N/A.

Kalkboringer

For kalkboringer er farvebeskrivelsen ofte gråhvid eller hvid grundet kalkens markante egenfarve og farverne ændrer sig ikke ved ændring i redoxforholdene. Der kan også forekomme horisonter, som er mineraliserede og røde, orange eller gule farver, hvor vandprøver både over og under horisonten kan være stærkt reducerede. Farvebeskrivelser for prøver for kalken kan derfor ikke anvendes til vurderingen af redoxgrænsen, og der skal derfor ikke angives et farveskift for kalken. Boringen skal i stedet angives med metadatakategorien N/A.

Aflejringer over kalk

Der skal være opmærksomhed omkring aflejringer, som ligger lige over kalken. Aflejringerne kan indeholde kalkrester, som gør af farven kan blive opblandet og måske kan se ud til at være oxideret uden at være det.

Det blanke ler

Det blanke ler er kendetegnet ved at være rødflammet og minder om plastisk ler. Da det blanke ler er aflejret på en søbund og er en fed ler, hvor der forventeligt ikke har kunnet forekomme iltning pga. den ringe vandgennemstrømning, vurderes den røde farve at skyldes lagets dominerende egenfarve og ikke oxidation.

Miocæne aflejringer

Visse borer slutter i miocæne aflejringer er beskrevet som brune glimmeraflejringer. Der angives ikke et farveskift ved overgangen fra grålige, kvartære aflejringer til brune glimmeraflejringer.

ringer, da glimmeraflejringerne brune egenfarve skyldes indhold af muskovit og organisk materiale. Miocæne aflejringer beskrevet som gråbrune skal som udgangspunkt ikke betragtes som oxiderede grundet deres egen farve. Det kan dog være nødvendigt at lave en konkret vurdering baseret på andet data, f.eks. hvis grundvandskemi eller vandspejlet indikerer, at laget er oxideret.

De miocæne aflejringer kan også resultere i, at kvartær smeltevandssand f.eks. i den vestlige del af Jylland også kan være brungrå/gråbund uden at være oxideret. Dette kan skyldes, at smeltevandssandet kan bestå af omlejret miocænt sand.

Ligeledes kan moræneler i bakkeøer have en brun farve, hvis de består af omlejret glimmerler.

Blåler

I nogle ældre borer kan jordprøver være beskrevet med blåler og rødler uden yderligere farvebeskrivelser. For disse aflejringer bestemmes redoxgrænsen efter følgende retningslinjer:

- Er der et farveskift fra røde, brune og gule farver til blåler antages blåleret at være reduceret. Se eksempel i Bilag 2 boring med DGU nr. 204.337.
- Er der blåler fra terræn eller efter en brønd, som ikke har en yderligere farvebeskrivelse end blåler, skal farveskiftet enten angives til N/A eller til INTERVAL, det vil afhænge af en konkret vurdering. Se eksempel i Bilag 2 borer med DGU nr. 204.40A samt 235.34G.
- Er det øverste lag tyndt og består af fyld eller andet, som må forventes at være oxideret (uden farvebeskrivelse), og der herefter kommer blåler uden en farvebeskrivelse, bør beskrivelsen være N/A eller INTERVAL det vil igen afhænge af en konkret vurdering. Se følgende eksempler (DGU nr. 231.106 og DGU nr. 237.96).

Aflejringer med højt indhold af organisk stof

Aflejringer med højt indhold af organisk materiale f.eks. tørv, gytje, dynd, klæg og brunkul anses som udgangspunkt for at være reducerede, såfremt aflejringer har en vis tykkelse. Disse aflejringer vil ofte beskrives som brune, selvom de, som regel, vil være reducerede. Den brune farve vurderes at skyldes det høje indhold af organisk materiale.

2.2.1.4 Geotekniske borer

Ved geotekniske borer er det ofte tilfældet, at et DGU nr. har flere tilknyttede borer. Det drejer sig ofte om en række tætliggende borer. I disse tilfælde er der oftest angivet en boring, som er blevet tildelt med et DGU nr. og de andre borer er angivet som "supplerende boring". I dette tilfælde benyttes som standard den ikke-supplerende boring, da denne formodes at være "hovedboringen". I tilfælde hvor der kun er angivet "supplerende borer" eller det ikke er tydeligt, hvilken boring der er "hovedboringen", kan det være relevant at gennemgå alle borerne for at vurdere den overordnede geologi i området. Er geologien og redoxgrænsen nogenlunde ens, kan denne redoxgrænse angives. Hvis borerapporterne angiver forskellige forhold, skal vurderingen være N/A. Ved de geotekniske borer kan det også overvejes at anvende de midlertidige metadatakategorier for at vurdere, om det giver værdi at bruge ekstra tid på at tolke dem.

2.2.1.5 Støtteparametre til vurdering af farveskift

I forbindelse med fastlæggelsen af redoxgrænsen er der en række støtteparametre, som kan anvendes i vurderingen ved borer med mangelfuld farvebeskrivelse eller ved lignende tvivl om redoxforhold. Støtteparametrene skal anvendes i samspil med øvrige parametre og kan ikke stå alene i en vurdering af redoxgrænsen.

- **Vandspejl**

Vandspejlet kan bruges som en støtteparameter. Den procentvise iltmætning i vand er meget lavere end i samme volumen atmosfærisk luft. Aflejringer over vandspejlet kan derfor forventes at have et højere iltindhold end under vandspejlet og dermed være oxideret. Der bør dog være opmærksomhed omkring, at seneste pejling ikke nødvendigvis er sammenfaldende med vandspejl ved etablering af boringen og, at grundvandsspejlet repræsenterer det filtersatte magasin og ikke nødvendigvis det lag grundvandsspejlet står i. Hvis seneste pejling er gammel, vil den heller ikke nødvendigvis repræsentere det nuværende vandspejl.

- **Grundvandskemi**

Grundvandskemien kan også være med til at give en idé om, hvor redoxgrænsen ligger. F.eks. er der påvist nitrat i en vandanalyse kan det være et tegn på, at redoxgrænsen ligger dybere end indtaget. Der bør dog være opmærksomhed på, at nitratindholdet også kan skyldes horisontalt grundvandsstrømning med nitratholdig vand eller nedsivning fra en utæt boring og dermed ikke giver et reelt billede af placeringen af redoxgrænsen. Derudover kan der også kigges på sulfatindholdet. Et forhøjet sulfatindhold kan være tegn på pyritoxidation og et tegn på at redoxgrænsen er tæt på indtaget. Herudover skal man have for øje, at en vandanalyse repræsenterer vand fra hele oplandet for boringen og ikke kun området omkring boringen. Der er derfor ikke altid en sammenhæng mellem redoxgrænsen og geologien i selve boringen og vandkvaliteten i det oppumpede vand.

- **Kalkindhold (Forsuring)**

Redoxgrænsen ligger oftest under fronten af forsuring. Forsuring opløser kalk fra terræn og ned. Syreprøve i et profil kan vise, hvor langt syrefronten er nået ned og farveskift, hvor langt redoxgrænsen er nået ned. Fravær af kalk kan understøtte redoxgrænsen. Ved terrænnære redoxgrænser kan kalkindholdet bruges som en støtteparameter, da oxiderede aflejringer ofte er kalkfrie, grundet forsuring fra biologisk nedbrydning. Ved dybere boringer kan denne sammenhæng ikke nødvendigvis drages. F.eks. som udgangspunkt vil kvartære sand- og leraflejringer, der er gråbrune og kalkfrie være oxiderede, mens de vil være reducerede, hvis aflejringerne er kalkholdige. I modsætning vil gråbrune miocæne sand- og leraflejringer anses for reducerede uanset kalkindholdet. Der bør også være opmærksomhed på, at kalkindholdet ikke kan anvendes i områder, hvor kalken er terrænnær (f.eks. i Nordjylland), da kalken her kommer nedefra.

- **Omkringliggende boringer**

Ved at plotte redoxgrænsen i et GIS-kort kan nærliggende boringer være en støtteparameter i forhold til vurdering af placeringen af redoxgrænsen. Er den pågældende boring placeret omkring en række andre boringer med metadatakategorien GOD, som angiver en redoxgrænse i tilsvarende niveau kan dette være med til understøtte vurderingen.

2.2.1.6 Gamle boringer

Da redoxgrænsen fastsættes ud fra farvebeskrivelsen ved etablering af boringen, skal der være fokus på, at redoxgrænsen ved ældre boringer kan have bevæget sig længere ned.

I overvejelserne kan inddrages, at ved grovkornede aflejringer flytter redoxgrænsen sig som udgangspunkt hurtigere end i aflejringer som er mere finkortet. I nyetablerede byområder/infrastruktur, kan f.eks. tørvelaget være gravet væk, reduktionskapaciteten kan derved være mindre ved nyere boringer og redoxgrænsen kan derved ligge lavere end for ældre boringer som er lavet før etablering af byområdet/infrastruktur.

Dette opmærksomhedspunkt kan også inddrages i forbindelse med kvalitetssikring af redoxfladen, hvor redoxfladen og -grænsen sammenlignes med vandtypen og nærliggende boringer (se afsnit 2.3).

2.2.2 Udfyldelse af udleveret Excel-ark

Dybden og/eller koten af redoxgrænsen, hvor der registreres farveskift, indskrives i det udleverede Excel-ark. På FIGUR 1 vises et eksempel på registrering af farveskift i borer. For kolonnerne markeret med grøn er data automatisk genereret ved udtræk af borer, som redoxgrænsen skal bestemmes for. I de gule kolonner registreres oplysninger til den øverste redoxgrænse.

- I kolonnen "Dbd_oeverste_redoxgraense" registreres dybden til redoxgrænsen i m u.t. Denne kolonne skal altid udfyldes medmindre metadatakategorien er N/A eller INTERVAL.
- I kolonnen "kote" registreres koten til redoxgrænsen, såfremt dybden ikke er angivet i m u.t.
- I kolonnen "Redoxtype" angives det hvilken metadatakategori, fra TABEL 1, der er anvendt til at beskrive farveskiftet. Denne skal altid udfyldes.
- I kolonnen "Antal_farveskift" angives, hvor mange farveskift, der forekommer i boringen. En boring med to overgange fra oxiderede til reducerede lag vil have tre farveskift. Enkelte borer slutter i et dybereliggende oxideret lag, hvorved der angives et lige antal farveskift. Ved borer, hvor sedimenterne udelukkende beskrives med farver, som er repræsentative for oxiderede lag og hvor der anvendes metakategorien MIN, angives ét farveskift til trods for at det ikke reelt finder sted i boringen. Kolonnen med antal farveskift skal altid udfyldes medmindre metadatakategorien er N/A.
- Kolonnerne "Top_af_interval" og "Bund_af_interval" skal kun udfyldes, hvis metadatakategorien INTERVAL er anvendt, hvor henholdsvis toppen og bunden af intervallet angives
- Kolonnen "Bemaerkning" udfyldes, hvis der er kommentar/begrundelse til valget af metadatakategorien.

META data for redoxpunkter												
DGU_nr	XUTM32EUR	YUTM32EUR	Terraenkote	Boringsdybde	Boringsdato	Dbd_oeverste redoxgraense	kote	Redoxtype	Antal_farv eskift	Top_af_interval	Bund_af_interv al	Bemaerkning
161. 1	5.442.193.913	61.008.089.28	35.0	30.0	01-01-1925 00:00			N/A				
161. 10	5.472.123.713	61.014.889.40	12.5	23.8	1888-01-01 00:00:00			N/A				
161. 11	5.474.143.703	61.014.339.42	12.0	24.5	1898-01-01 00:00:00			N/A				
161. 115	543569.0	6097995.0	18.0	34.0	27-07-1962 00:00	31		MAX	1			
161. 118	546.380.388	60.980.219.61	13.0	37.0	02-08-1961 00:00	34		MAX	1			
161. 12	5.471.193.718	61.015.119.40	16.0	27.0	1899-01-01 00:00:00			N/A				
161. 120	549854.0	6101791.0	15.0	28.0	01-01-1964 00:00	25		MAX	1			
161. 121	548460.92	6098565.6	16.0	34.0	01-03-1961 00:00			N/A				
161. 127	546264.0	6099175.0	17.2	58.0	04-11-1961 00:00	9		MAX	1			
161. 131	5.424.684.108	60.979.239.39	12.5	25.0	31-07-1966 00:00			N/A				
161. 136	5.470.853.617	61.016.269.39	16.37	12.2	28-07-1967 00:00	3,3		GOD	1			
161. 139	549330.84	6102561.53	19.33	55.0	01-01-1968 00:00	4		GOD	1			
161. 13A	5.470.683.717	61.016.289.38	5.0	36.0	01-01-1908 00:00			N/A				
161. 138	547113.0	6101623.0	5.59	34.0	01-01-1933 00:00			N/A				
161. 144	5.431.913.983	61.004.229.25	26.37	74.0	04-04-1968 00:00	7		GOD	1			
161. 145	542776.63	6100195.97	28.0	39.0	24-04-1968 00:00	8		GOD	1			
161. 149	5.451.283.851	61.010.689.32	27.0	70.0	01-09-1964 00:00			N/A				
161. 150	5.485.093.701	60.995.499.62	33.0	48.5	01-01-1960 00:00	7,5		GOD	1			
161. 152	5.475.313.699	61.013.439.43	13.57	9.1	09-05-1969 00:00	2,2		GOD	1			
161. 153	5.475.963.695	61.013.489.43	13.67	4.6	09-05-1969 00:00	4,5		GOD	1			
161. 154	5.476.213.692	61.013.719.43	13.37	8.9	09-05-1969 00:00	5,9		GOD	1			
161. 155	5.476.183.693	61.013.669.43	11.37	4.6	14-05-1969 00:00	4,6		MIN	1			
161. 157	542857.0	6098032.0	12.0	22.5	30-10-1969 00:00	11		GOD	1			
161. 16	5.483.803.606	61.026.959.38	20.0	51.0	20-05-1940 00:00			N/A				
161. 160	542.631.409	60.981.629.38	12.5	19.0	08-08-1969 00:00	11		GOD	1			
161. 161	544187.65	6102611.51	5.09	53.0	09-09-1969 00:00	5		GOD	1			
161. 17	5.456.393.924	60.979.979.57	8.37	46.0	01-01-1938 00:00			N/A				
161. 179	545139.0	6101055.0	26.44	70.0	25-09-1973 00:00	4,55		GOD	1			
161. 18	5.477.393.789	60.982.489.67	-0.12	33.5	01-01-1938 00:00			N/A				
161. 180	541620.04	6099482.33	8.97	22.5	12-06-1974 00:00	8		GOD	1			
161. 181	547032.0	6101946.0	16.0	55.5	26-04-1967 00:00	3,5		GOD	3			
161. 188	544134.0	6098180.0	14.0	29.5	14-10-1976 00:00	5,5		GOD	1			
161. 19	5.471.673.899	60.963.129.79	11.0	41.0	30-11-1959 00:00	0		MIN	1			
161. 190	544438.92	6096396.85	6.17	29.0	21-06-1976 00:00	5		GOD	2			
161. 194	543438.0	6098301.0	14.0	31.4	06-10-1976 00:00			N/A				

FIGUR 1. Eksempel på registrering af farveskift i borer i det udleverede Excel-ark. Metadatakategorierne fra TABEL 1 angives i kolonnen "Redoxtype".

Forekommer der flere farveskift i en boring, skal disse indtastes i de grå og svagt røde kolonner (FIGUR 2) på samme måde som beskrevet i punkterne ovenfor. For hvert farveskift skal der angives dybden til farveskiftet og metadatakategori. Der skal altså angives farveskift ved overgang fra oxideret til reduceret, fra reduceret til oxideret, fra oxideret til reduceret m.m.

META data for redoxpunkter															
DOY_19	POTM32LUR	POTM32LUR	Terminskode	Boringsdybde	Boringsdata	Dist. overste- redoxgrænse	Redoxtype	Actual lav- redox	Top_of_interv	Band_of_interv	Bemærkning	1. Dist (red-max)	Note	Type	Top_of_1 interval
161, 181	547012.0	6101946.0	16.0	55.5	26-04-1967 00:00	3.5	GOD	3				17.6		USURKER	
161, 188	544134.0	6098180.0	14.0	29.5	16-10-1976 00:00	5.5	GOD	1							
161, 19	5,471.673.899	60,963.129.797	11.0	41.0	30-11-1959 00:00	0	MIN	1							
161, 190	544438.52	6096196.85	6.17	29.0	21-06-1976 00:00	5	GOD	2							
161, 194	543638.0	6098101.0	14.0	11.4	06-10-1976 00:00	N/A									
161, 195	543119.0	6098070.0	17.07	35.0	22-03-1973 00:00	35	MAX	1							
161, 196	5,407.913.767	61,011.339.21	12.16	62.0	28-10-1977 00:00	6.5	MAX	1							
161, 197	5,414.933.757	60,996.869.55	27.5	59.0	30-09-1977 00:00	5	GOD	5							
														INTERVAL	11.4 14
															22

FIGUR 2. Eksempel på registrering af flere farveskift i boringer. Metadata-kategorierne fra TABEL 1 angives i kolonnen "Redoxtype" og "Type".

2.3 Kvalitetssikring af redoxpunkter

Til kvalitetssikring af redoxpunkterne kan de indlæses i et GIS program og tematiseres efter dybden til øverste farveskift. Hermed kan det visuelt kontrolleres, om der er for store variationer inden for kort afstand. Såfremt der er områder med for stor variation, kan punkterne i disse områder tjekkes for eventuelle fejl, og det kan overvejes, om metadata-kategorien skal ændres til N/A.

Boringer, som er angivet med midlertidige metadata-kategorier sammenlignes med nærliggende boringer og det beslutes, hvad den endelige metadata-kategori skal være.

De dybeste, vurderede redoxgrænser bør tjekkes særligt i forhold til, om det giver mening, at redoxgrænsen er placeret så dybt.

Som beskrevet i afsnit 2.1 skal der laves en indledende kvalitetssikring, når de første 10 % eller 200 redoxvurderinger er lavet, dette for at kunne tage hånd om eventuelle misforståelser eller fejltolkninger så tidligt i forløbet som muligt.

2.4 Afsluttende erfaringsopsamling

Når tolkningen af redoxpunkterne er afsluttet skal der laves en afsluttende erfaringsopsamling, som skal medtages i afrapporteringen af redoxkortlægningen. Stemmer forventningerne angivet i opstarten, afsnit 2.1, overens med det der er blevet tolket i kortlægningsområdet. Er der andre forhold, som har vist sig at være afgørende for redoxtolkninger i kortlægningsområdet, som er værd at være opmærksom på, såfremt der skal laves en ny tolkning i samme område.

Miljøstyrelsen vil løbende samle op på disse erfaringsopsamlinger og tilføje dem i et bilag i denne vejledning.

2.5 Beregning af redoxfladen

Når redoxvurderingerne er lavet og indskrevet i Excel-arket med de rigtige metadata-kategorier kan redoxfladen beregnes. Beregningen laves i algoritmen RedoxML fra GEUS. Algoritmen RedoxML er en machine learning model der trænes til at beskrive sammenhænge mellem redoxgrænsen tolket ud fra boringsbeskrivelser og de i modellen anvendte forklarende variable. Modellen anvender også en geostatisk model til at beskrive afvigelserne mellem de tolkede og modelberegnete redoxgrænser [3].

Beregningen foretages på [GEUS' redox hjemmeside](https://data.geus.dk/redox-website/)¹. Når beregningen er færdig kan den beregnede redoxflade downloades fra samme hjemmeside. Den beregnede redoxflade angiver dybden i m u.t. En nærmere beskrivelse kan findes i GEUS' tekniske vejledning for RedoxML [3].

¹ <https://data.geus.dk/redox-website/>

- For at algoritmen kan køre korrekt, er det vigtigt, at metadatakategorierne er angivet som i TABEL 1 og at kategorierne skrives med blokbogstaver samt at fanebladet i Excel-arket er navngivet med "Metadata_redoxpunkter".
- Det bør være opmærksomhed omkring, at den beregnede redoxfalde angiver dybden i m u.t.

I redoxværktøjet er der mulighed for, at fem forklarende variabler i algoritmen kan opdateres lokalt. De fem eksisterende variabler er alle udtaget fra simuleringer med DK-modellen. Modeller opsat i forbindelse med Grundvandskortlægningen er ofte mere detaljerede, og derfor skal de opdateres lokalt i forbindelse med beregning af redoxfladen.

De fem variable består af to lag fra den hydrostratigrafiske model og tre lag fra den hydrologiske model. Lagene indlæses også på GEUS' redox hjemmeside. Det er vigtigt, at data har det rigtige format, før de indlæses, se en beskrivelse heraf i GEUS' beskrivelse af RedoxML værktøjet [3]. De fem lag beskrives nedenfor.

Geologiske/hydrostratigrafiske data

- Tykkelse af øverste lerlag: Akkumuleret tykkelse fra terræn af det førstkommande sammenhængende lerlag i områder, hvor øverste lag under terræn er ler. Beregningen ignorerer alle sand- og kalklag tyndere end 1 m. Dvs. tykkelsen fra terræn til toppen af førstkommande sand- eller kalklag, der er tykkere end 1 meter. Kortet må ikke indeholde "NoData" værdier for land.
- Tykkelse af øverste sand-/kalklag: Akkumuleret tykkelse fra terræn af det førstkommande sammenhængende sand-/kalklag i områder hvor øverste lag under terræn er sand/kalk. Beregningen ignorerer alle lerlag tyndere end 1 m. Dvs. tykkelsen fra terræn til toppen af førstkommande lerlag, der er tykkere end 1 meter. Kortet må ikke indeholde "NoData" værdier for land.

Disse lag skal beregnes via af et script udviklet af Miljøstyrelsen. En beskrivelse af scriptet kan findes i Bilag 1.

Hydrologiske data

- Grundvandsdannelse: Modelsimuleret flux fra umættet til mættet zone. Angives i akkumuleret mm per år, som gennemsnit over en årrække.
 - I MIKE SHE hedder udtrækket "Exchange between UZ and SZ (pos.up)".
 - I MODFLOW er der ikke en prædefineret fil, som indeholder grundvandsdannelsen. Der skal laves en beregning af denne. Der anvendes oftest "total recharge to SZ", typisk fra HIP modellen, som inputdata i MODFLOW. Filen kommer til at hedde "Recharge" i MODFLOW terminologi. "Recharge" filen kan angive, at der sker grundvandsdannelse, hvor man ikke forventer der skulle ske grundvandsdannelse (f.eks. langs vandløb). For at korrigere for dette skal der laves et separat udtræk, som indeholder vandudvekslingen mellem de to øverste aktive lag (mættede lag). Denne fil skal trækkes fra "Recharge" for at få den reelle grundvandsdannelse. Dvs. for arealer, hvor fluxen mellem de to øverste aktive lag er opadrettet, sættes grundvandsdannelsen til nul.

- Middel grundvandsstand (Gennemsnitlig tykkelse af umættet zone): Modelsimuleret grundvandsstand (øverste vandspejl). Angives i meters dybde i forhold til terræn. Algoritmen følger MIKE SHE konventionen og angiver en dybde i meter under terræn med negative fortegn. Dvs. positive værdier indikerer vand på terræn.
 - I MIKE SHE hedder udtrækket "depth to top phreatic surface (negativ)"².
 - I MODFLOW er der ikke en prædefineret fil der indeholder grundvandsstand. Der skal laves en beregning af denne. Den negative tykkelse af den umættede zone beregnes som koten for det øverst beliggende grundvandsspejl minus terrænkoten. Man skal finde det øverst liggende vandspejl. Denne trækkes fra terrænknoten, hvorefter man får tykkelsen af den umættede zone.
- Minimumsgrundvandsstand (maksimal tykkelse af umættede zone): Modelsimuleret minimumsgrundvandsstand (øverste vandspejl), som svarer til en maksimal dybde. Angives i meters dybde i forhold til terræn. Algoritmen følger MIKE SHE konventionen og angiver en dybde i meter under terræn med negative fortegn. Dvs. positive værdier indikerer vand på terræn.
 - I MIKE SHE kaldes udtrækket "depth to top phreatic surface (negativ)".
 - Da MODFLOW modeller oftest er en stationær model vil grundvandsstanden være i et middelniveau og ikke fluktuere. Der kan derfor ikke beregnes en minimumsgrundvandsstand. Til beregning af redoxfladen anvendes derfor den samme fil som for middel grundvandsstand. Såfremt modellen er dynamisk skal der også beregnes en minimumsgrundvandsstand.

Der bør være opmærksomhed omkring, at algoritmen udelukkende anvender det øverste farveskift, og forholder sig dermed ikke til, om der findes flere farveskift i en boring. Denne oplysning kan med fordel anvendes i forbindelse med sårbarhedsvurderingen af drikkevandsmagasinerne.

2.5.1 Kvalitetssikring af den beregnede redoxflade

Når redoxfladen skal kvalitetssikres, anbefales det at sammenholde den beregnede redoxflade, med profiler fra den hydrostratigrafiske model samt placeringen af de enkelte redoxpunkter. De beregnede partikelbaner kan ligeledes indlæses på profilerne.

Redoxfladen kan ydermere kvalitetssikres ved hjælp af vandtyper. De oxiderede vandtyper burde som udgangspunkt ligge over redoxgrænsen, mens de reducerede vandtyper burde ligge under redoxgrænsen. Miljøstyrelsen har udarbejdet et GIS-værktøj, der kan sammenligne vandtyper, filterplacering og dybden til redoxgrænsen. Dette værktøj er et internt værktøj, som derfor skal køre ved Miljøstyrelsen, men resultatet kan deles med rådgiver.

Denne kvalitetssikring kan give anledning til, at nogle af redoxvurderingerne skal ændres og at redoxfladen herefter skal beregnes igen.

I forbindelse med kvalitetssikringen bør der være opmærksomhed på store afvigelser fra redoxpunkt til redoxflade eller lokale afvigelser mellem tætliggende celler i fladen. Disse fejl kan evt. skyldes fejlkilder i forbindelse med beregning af redoxfladen og kan muligvis ikke rettes i algoritmen. Ydermere kan der områder, hvor redoxfladen vurderes at være behæftet med en større usikkerhed end andre steder.

De områder, som vurderes at kunne være behæftet med en større usikkerhed bør angives, som polygoner i en separatfil, der således kan anvendes i forbindelse med sårbarhedskortlægningen.

² Der kan laves forskellige udtræk fra resultatfilen. Det skal defineres, at man ønsker at udtrække middel tykkelsen af den umættede zone samt den maksimale tykkelse af den umættede zone.

2.5.2 Den endelige beregnede redoxflade

Det er muligt at lave flere beregninger af redoxfladen for det samme område for at teste forskellige scenarier eller efter ændringer foretaget i forbindelse med kvalitetssikring. Det er dog vigtigt at notere dato og klokkeslæt for den endelige beregning.

GEUS gennemgår årligt alle nye redoxtolkninger og tilføjer herefter data til algoritmen. I tilfælde af tvivl omkring version, vil GEUS tage kontakt til den person, der har gennemført beregningen.

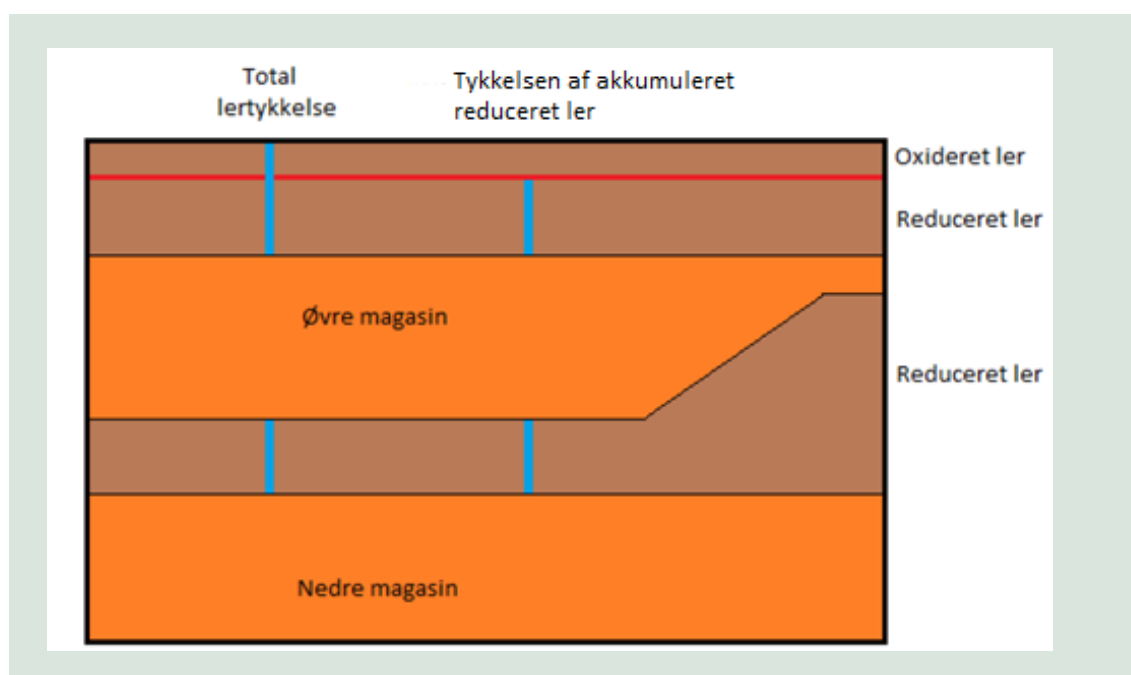
3. Aflevering af data til GRUKOS

Hvilke data der skal afleveres til Miljøstyrelsen i forbindelse med kortlægning af redoxgrænsen fremgår af vejledning til GRUKOS-aflevering, som kan findes på [Miljøstyrelsens hjemmeside](#).

4. Beregning af tykkelsen af akkumuleret reduceret ler

Beregning af tykkelsen af reduceret ler er en ren grid-matematisk beregning, hvor terræn- og modellag samt den interpolerede redoxgrænse anvendes. Det er vigtigt, at alle grids er defineret ens, hvad angår celledimension, noder og geografisk dækning. Beregningerne kan udføres i f.eks. GIS eller GS3D. Ved beregningen bør der være opmærksomhed omkring, at redoxfladen er beregnet i m u.t., mens de beregnede akkumulerede lertykkelser fra den hydrostratigrafiske model oftest er angivet i kote.

Beregningerne foretages altid magasinspecifikt. FIGUR 3 illustrerer begreberne total lertykkelse og tykkelsen af akkumuleret reduceret ler.



FIGUR 3. Tykkelsen af akkumuleret reduceret ler og total lertykkelse over drikkevandsmagasiner.

Som det ses af FIGUR 3, beregnes den totale tykkelse af ler ovenpå det nedre drikkevandsmagasin ved at lægge tykkelserne af de to overliggende lerlag sammen.

Tykkelsen af reduceret ler beregnes som den totale lertykkelse blot fratrasket den totale tykkelse af oxideret ler. Det skal her bemærkes, at tykkelsen af oxideret ler ikke direkte kan sættes til tykkelsen af den oxiderede zone, idet den oxiderede zone kan indeholde f.eks. sand.

4.1 Eksempel på beregning i GeoScene3D

Hvis den reducerede lertykkelse beregnes i GeoScene3D (GS3D) anbefales det, at fladen for redoxgrænsen indlægges som erstatning for terræn. Herefter køres en fladejustering efterfulgt af Isopach kørsel. Resultatet, der fremkommer, er reducerede lertykkelser for de enkelte lag, der kan sammenlægges i forhold til, om de ligger over et drikkevandsmagasin. Isopach resultatet giver mulighed for at vurdere, om der ligger sandmagasiner mellem de enkelte reducerede lerlag eller om disse er sammenhængende lodret i forhold til det magasin der skal beskyttes.

5. Referencer

- [1] GEUS, »Kemisk grundvandskortlægning. Geovejledning 2018/2,« 2018.
- [2] Miljøstyrelsen, »Nitratsårbarhed og afgrænsning af NFI og IO,« 2023.
- [3] GEUS, »Brugervejledning for RedoxML (<https://geovejledning.geus.dk/>),« 2023.
- [4] GEUS, »Geovejledning 1: Jordprøver fra grundvandsboringer,« 2008.

Bilag 1. MST script til beregning af tykkelsen af øverste sand-/kalklag og lerlag

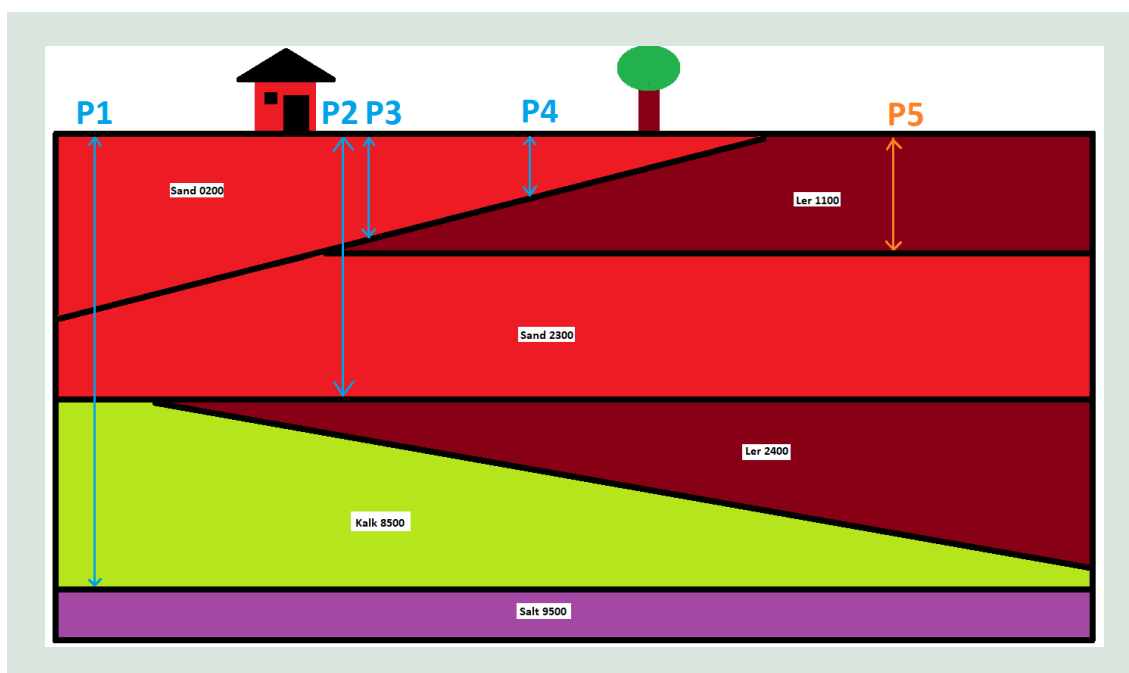
I dette afsnit beskrives, hvordan tykkelsen af hhv. vandførende- og vandstandsende lag fra terræn beregnes. Beregningen er foretaget i Python og skal anvendes som input til GEUS' beregning af redoxfladen. Python scriptet, er en del af Miljøstyrelsen Grundvands (MST-GKO) Git repository vedr. redox udtræk, se nærmere [her](#).

Metodik

For at beregne tykkelsen af de vandførende lag (sand og kalk), anvendes de justerede FOHM-lag fra terræn og ned igennem lagserien. For en given celle i FOHM-modellen stopper scriptet med at lede, når det kommer til toppen for det øverste ikke-vandførende lag (ler, salt), der er tykkere end 1 meter.

Toppen af salt-laget (Salt 9500) fungerer som en bund i FOHM-modellen. Tykkelsen af både de vandførende- og vandstandsende lag vil derfor maksimalt være fra terræn og ned til dette lag. Dette ses fx i FIGUR 4 ved P1, hvor tykkelsen af de vandførende lag stopper ved toppen af salt 9500, da både sand og kalk lag regnes for vandførende og der i dette punkt ikke træffes et lerlag på vejen.

Ved P2, i FIGUR 4, beregnes tykkelsen ned til toppen af Ler 2400, selvom P2 rammer Ler 1100. Dette skyldes, at dette lerlag ikke er tykkere end 1 meter. Modsat ved P3, er tykkelsen beregnet til toppen af Ler 1100, da lerlaget på dette sted er tykkere end 1 meter.



FIGUR 4. Principskitse for beregning af tykkelsen af øverste vandførende lag (blå) og tykkelse af øverste vandstandsende lag (orange farve).

Tykkelse af det vandførende lag er dermed beregnet ved at tage dybden til toppen af et ikke vandførende lag. Det samme gøres for de vandstandsende lag (ler), hvor der anvendes de ikke-vandstandsende lag (sand, kalk og salt). For at omregne FOHM-laget fra kote til dybde, anvendes terræn FOHM-laget samt det pågældende FOHM-lag.

Bemærk, at der for en given celle, vil enten tykkelsen af det vandførende eller vandstandsende lag, altid være 0 meters tykkelse. Kun laget som i den pågældende celle ligger i terræn, vil have en tykkelse forskellig fra nul. Dette kan fx ses i FIGUR 4, hvor tykkelsen af de vandstandsende lag ved P4 er lig nul, da der i dette område ikke er ler ved terræn. Omvendt ved P5 ses, at tykkelsen af de vandførende lag er lig nul, da der i dette område er et lerlag i terræn.

Til at finde tykkelsen af øverste vandførende lag anvendes alle FOHM-lag der ikke er vandførende (ler og salt), se listen af FOHM lag-id herunder:

'0100', '0130', '0150', '0300', '1100', '1300', '1500', '2200', '2400', '3110', '3030', '3050', '3070', '5100', '5300', '5500', '5610', '5630', '5650', '5700', '5900', '6100', '6300', '6500', '6700', '6810', '6830', '6850', '6900', '7100', '7300', '7500', '7700', '8000', '9500'

Til at finde tykkelsen af øverste vandstandsende lag anvendes alle FOHM-lag der ikke er vandstandsende (sand, kalk og salt), se listen af FOHM lag-id herunder:

'0050', '0120', '0140', '0200', '0400', '1200', '1400', '2100', '2300', '3020', '3040', '3060', '5200', '5400', '5600', '5620', '5640', '5660', '5800', '6000', '6200', '6400', '6600', '6800', '6820', '6840', '6880', '6920', '7000', '7200', '7400', '7600', '7800', '8500', '9000', '9500'

Data input

Til scriptet skal de justerede FOHM-lag anvendes, herunder FOHM Terræn model (lag-id 0000). Der behøves ikke nødvendigvis at blive afleveret en komplet liste med alle FOHM-lag. Alle lag der udelukkende har celler med nul-tykkelse kan undværes.

Følgende forventes til data input:

- Alle FOHM-lag er i surfer-grid format (.grd), hvilket er standardformatet i FOHM.
- Alle FOHM-lag har det pågældende lag-id i på fire cifre i filnavnet, fx ses lag-id 0300 i filnavnet 'ks1t_0300_Adjusted.grd'.
- Alle FOHM-lag har samme udbredelse, cellestørrelse og antal celler. Dette indbefatter også terrænfladen. Dette burde være standard så længe der anvendes de justerende FOHM-lag direkte fra tolkningen.
- Alle FOHM-lag har samme geografiske projektion (srid=25832), hvilket er standard-projektion i FOHM.

Data output

Output fra dette script er tykkelsen af hhv. øverste vandførende- og vandstandsende lag.

Da data output skal anvendes til GEUS' beregning af redoxfladen, sætter GEUS nogle krav til outputtet fra dette script [3].

- Rasterfilen skal være i GeoTiff format (.tif).
- Rasterfilen skal være i projektion srid=32632 (WGS_1984_UTM_Zone_32N). Dette medfører at rasterfilen er gensamlet til GEUS' ønskede projektion.
- Rasterfilen skal have koordinaterne af cellens hjørner i hele hundreder. Dette er modsat FOHM-lagene som har koordinatet af cellens centrum i hele hundreder. Dette medfører at rasterfilen er gensamlet til GEUS' ønskede grid.
- For celler i rasterfilen, hvor der ikke kunne findes en værdi, indsættes en tykkelse på -9999. Disse såkaldte NoData celler må ikke forekomme på land.

For at opfylde disse kriterier, er rasterfilen fra dette script gensamlet således, at projektion samt grid rettet ind ift. GEUS' krav. Til gensampling er bilinear interpolation anvendt. Dette medfører, at tykkelserne i rasterfilerne til GEUS bliver udværet ift. tykkelsen den originale rasterfil.

I output ses 2 filer for hhv. vandførende- og vandstandsende lag. Et originalt med FOHM grid og FOHMs standard projektion (srid=25832) og en tilpasset til GEUS' krav. Det er brugerens ansvar at kontrollere om den gensamlede rasterfil indeholder artefakter ift. originalen inden denne afleveres til GEUS.

Bilag 2. Eksempler på vurdering af redoxgrænsen

TABEL 2. Eksempler på vurderinger af redoxgrænsen

Metadatakategori GOD	
DGU nr. 204.428	Den øverste redoxgrænse er i boringen vurderet til at være GOD 4,2 m u.t., og er sammenfaldende med en laggrænse. Kalkindholdet tillægges ikke betydning ved denne vurdering.
DGU nr. 193.974	Den øverste redoxgrænse vurderet til GOD 4,5 m u.t., og er sammenfaldende med en laggrænse. Her ses der kalkfrie forhold i den oxiderede lag, men de ses kalkholde forhold i de reducerede lag.
DGU nr. 193.819	Der er tørv fra terræn til 3,5 m u.t. herefter er der reducerede farver. Redoxgrænsen vurderes at være ved terræn, altså GOD 0 m u.t.
DGU nr. 7.1352	I brøndborebeskrivelsen er der angivet gult sand til 17,5 m u.t. herefter blåler. Jordprøvebeskrivelsen angiver lyst gråbrunt sand i 10 m u.t. I dette tilfælde anvendes vandspejlet som en støtteparameter. Vandspejlet ligger 17,4 m u.t. Samtidig beskrives alt sand under 17,5 m u.t., som olivengråt i jordprøvebeskrivelsen og gråt hos brøndboreren. Begge beskrivelser har reducerede farver i sandet under 17,5 m og oxiderede eller blandingsfarver over 17,5 m. Redoxgrænsen vurderes at være GOD 17,5 m u.t.
DGU nr. 200.6842	Den øverste redoxgrænse er i boringen vurderet til at være GOD 19,5 m u.t. Der sker et farveskift fra gulbrunt sand til brundgråt sand.
DGU nr. 49.377	Den øverste redoxgrænse er vurderet til at være GOD 6,5 m u.t. Ved denne redoxvurdering vurderes lys olivenbrun at kunne tolkes som reduceret. Farven skifter fra lys gulbrun til lys olivengrå i leret. Herefter er der angivet lys olivenbrunt smeltevandssand fra 7-51 m u.t., hvorefter der fra lys olivengrå moræneler fra 51-57 m u.t. Det vurderes ikke realistisk, at redoxgrænsen er i 51 m u.t., når vandspejlet ligger i 3,3 m u.t. Den olivenbrune farve af smeltevandssandet vurderes at være en egenfarve.
DGU nr. 204.337	Den øverste redoxgrænse er i boringen vurderet til at være GOD 2 m u.t. I brøndborerapporten er der angivet rødler 0,5-2 m u.t. herefter er der angivet blåler. Antagelsen af, at blåleret i dette tilfælde er reduceret bekræftes af jordprøvebeskrivelsen, som angiver, at farven på blåleret er olivengråt.
DGU nr. 193.2877	0,2 meter muld efterfulgt af tørv og gytje. Redoxgrænsen vurderes at være GOD 0,2 m u.t.
Metadatakategori N/A	
DGU nr. 193.388	Der er ingen farvebeskrivelse.
DGU nr. 88.1450	På trods af, at der er mange farvebeskrivelser af aflejringerne, er det ikke muligt at fastlægge et farveskift, da farvene skifter mellem oxiderede og reducerede farver samt blandingsfarver.
DGU nr. 230.162	På trods af, at GEUS farvebeskrivelser har oxiderede farver til 40,5 m u.t. vurderes redoxgrænsen ikke at være her. Alle prøver bortset fra 0,8-3,25 m u.t. er sand eller grus, som nemt kunne være iltet hos GEUS. Brøndborebeskrivelsen angiver brungrå grus fra 3,25 m u.t. Der er ikke noget tydeligt farveskift metadatakategorien skal være N/A.
DGU nr. 204.40A	Der er ingen farvebeskrivelse. Der er angivet blåler i intervallet 7-16 m u.t., men det kan ikke afklares om blåleret er oxideret eller reduceret.
DGU nr. 235.34G	Der er ingen farvebeskrivelse. Der er angivet en brønd efterfulgt af blåler, men det kan ikke afklares om blåleret er oxideret eller reduceret.
DGU nr. 49.822	Se beskrivelse under "Midlertidige vurderinger".
DGU nr. 235.34B	Se beskrivelse under "INTERVAL"
DGU nr. 231.106	Der er ikke lavet nogle farvebeskrivelser. Det er svært at afgøre om blåleret er reduceret.
DGU nr. 237.96	
Metadatakategori MAX	
DGU nr. 193.581	Der er en brønd fra 0-19 m u.t. herefter er der grønliggråt ler. Redoxgrænsen er derfor maksimalt 19 m u.t.

DGU nr. 89.302	Den første aflejring med farvebeskrivelse findes 16,4 m u. t. og er bestemt til gråt ler. Redoxgrænsen er derfor maksimalt 16,4 m u.t.
----------------	--

Metadatakategori MIN

DGU nr. 161. 155	Boringen er 4,6 meter dyb og der er udelukkende beskrevet oxiderede farve, redoxgrænsen er derfor vurderet som minimum at være 4,6 m u.t.
DGU nr. 193. 94	Der er beskrevet rødler til 12 m u.t. og blåler efter 48 m u.t. Redoxgrænsen vurderes som minimum at være 12 m u.t.
DGU nr. 200.6715	Boringen er 12,5 meter dyb og der er udelukkende beskrevet oxiderede farver, redoxgrænsen er derfor vurderet som minimum at være 12,5 m u.t.

Metadatakategori INTERVAL

DGU nr. 78.860	Ved denne boring ligger redoxgrænsen et sted mellem 25-32 m u.t. Der er oxiderede farver fra 0-25 m u.t. Ved 25 m u.t. er der beskrevet smeltevandssand som olivenbrune og ved 32 som gråbrune. Den gråbrune farve fortsætter til 95,8 m u.t., hvorefter der er beskrevet olivengrå moræneler. Kalkindholdet går samtidig fra kalkfri til svagt kalkholdig i 28 m. Da det ikke vurderes at være realistisk, at der er oxiderede farver til 95,8 m u.t. derfor vil den gråbrune farve i dette tilfælde vurderes at være reduceret. I brøndborerbeskrivelsen er sandet beskrevet som gråt. Redoxgrænsen er vurderet til INTERVAL 25-32 m.u.t. INTERVALLT 25-32 tolkes som en overgangszone mellem oxideret og reduceret zone.
DGU nr. 107. 1188	Der er beskrevet rødler i toppen fra 0-3 m u.t. og sort ler fra 13,25-13,75 m u.t. Farveskiftet vurderes til at ske inden for intervallet 3-13,25 m u.t. Redoxgrænsen vurderes som INTERVAL 3-13,25 m u.t.
DGU nr. 162. 139	Der er beskrevet gult ler fra 0,5-3,75 m u.t. og sort sandler efter 47,35 m u.t. Farveskiftet vurderes til at ske inden for intervallet 3,75-47,35 m u.t. Redoxgrænsen vurderes som INTERVAL 3,75-47,35 m u.t.

Midlertidige vurderinger

DGU nr. 49.822	Der er ingen farvebeskrivelse i brøndborerrapporten. I GEUS' beskrivelse er der angivet gulbrunt moræneler fra 0 - 5,8 m u.t. Herefter er der gulbrunt smeltevandssand til 32 m u.t., hvorefter der sker et skift til gråbrunt smeltevandssand. Der ses gråbrune farver i resten af boringen som slutter 56 m u.t. Vandspejlet ligger 12,3 m u.t. ellers ingen brugbare støtteparametre. Smeltevandssandet kan have en egenfarve, som er brun ud over det kan prøverne være blevet oxideret før bestemmelsen er sket hos GEUS. Da der er usikkerhed omkring redoxvurderingen anvendes der en midlertidig metadatakategori M_GOD 32 m u.t. Redoxvurderingen skal sammenholdes med nærliggende boringer senere, hvor det skal afklares om vurderingen skal være GOD 32 m u.t. eller N/A.
11.1477	Der er beskrevet brunt grus fra 0-3 m u.t. herefter mørk grå og brunt ler 3-12 m u.t. Fra 12-57 m u.t. er der beskrevet mørke gråbrunt saltvandsler. Det vurderes ikke at være sandsynligt, at dette ler oxideret ned til 57 m u.t. I dette tilfælde anvendes der derfor en midlertidig kategori, for at kunne sammenligne med nærliggende boringer senere i kortlægningen, M_INTERVAL 3-12 m u.t.
229.137	Ved kortlægningen på Lolland blev det set mange boringer med brunt fedtet ler tolket som smeltevandsler, som havde en kraftig egenfarve. Efter at være blevet opmærksom på flere boringer i området, som havde dette fedtede brune ler i stor dybde blev det tolket ikke at være oxideret men reduceret. Der er tolket muld og rødler 0-5 m u.t. og herefter fedtet brunligt ler fra 5-11 m u.t. og 11-16 m u.t. og 16-20 m u.t. blåler blandet med sten og sand (gråt), 20-22 m u.t. ler (gråt), 22-27 m u.t. blåler og endeligt 27-30 m u.t. kridt. Denne tolkning er endt med at bliver GOD ved 5 m u.t. da der kunne ses en sammenhæng for området, men er startet som en M_GOD 5 m u.t.

Boringer med flere farveskift

DGU nr. 193.3173	Denne boring har 3 farveskift som alle har metadatakategorien GOD, et skift 1,5 og 3,7 og 22,5 m u.t.
DGU nr. 194.770	Denne boring har 3 farveskift. Det første er MAX 3,7 m u.t. Der er angivet fyldt ned til 3,7 m u.t. herefter er der i brøndborebeskrivelsen angivet gråt moræneler. De næste farveskift har metadatabeskrivelsen GOD, et skift ved 14,2 og 27,6 m u.t.

Vejledning til kortlægning af redoxgrænse og beregning af tykkelsen af akkumuleret reduceret ler

Den vejledning angiver Miljøstyrelsens procedure i forbindelse med kortlægning af redoxgrænsen og beregning af tykkelsen af akkumuleret reduceret ler, som udføres som en del af Miljøstyrelsens Grundvandskortlægning.



Miljøstyrelsen
Lerchesgade 35
5000 Odense C

www.mst.dk