Valg af værktøj til modellering af Klima-Lavbundsprojekter

Diplomingeniør-afgangsprojekt

Sessan Holmberg

Byggeri & Anlæg, Vand & Miljø

Aalborg Universitet

Afleveret: 09-01-2025

AALBORG UNIVERSITET

7. Semester - Byggeri & Anlæg, Vand & Miljø
B.Sc in Water and Environmental Engineering
Thomas Manns Vej 23
9220 Aalborg
http://www.build.aau.dk

Titel:

Valg af værktøj til modellering af Klima-Lavbundsprojekter

Projekt:

Diplomingeniør-afgangsprojekt

Projektperiode:

01.11.2024 - 09.01.2025

Forfatter:

Sessan Holmberg

Vejleder:

Søren Thorndahl

Virksomhedsvejledere, Artelia Aalborg:

Nina Scheel Nellemann
Mikkel Schumacher

Synopsis:

I dette projekt undersøges, hvor stor forskel valg af modelleringsværktøj gør for beregning af klima-lavbundsprojekters effekt på udledning af klimagasser, kvælstof og fosfor.
Der sammenlignes forskellige modelleringer af klima-lavbundsprojektet Sønder-Borup: Modellering med Modflow udført af WatsonC, med VASP og et semi-automatiseret GIS-værktøj af Artelia og med samme kombination af rapportens forfatter.
Der viser sig at være delvis sammenhæng mellem modellering og udledningsberegninger af kvælstof og fosfor, mens udledningsberegningen af klimagas er uafhængig af modelleret vandspejl.
Forskelle på modelleringerne afhænger tilsyneladende stærkere af den nuværende tilstand, som modellen kalibreres op imod, end af valg af værktøj. Det er derfor vigtigere at have godt kendskab til projektområdets nuværende tilstand end hvilket modelleringsværktøj, der bruges.

Sidetal: 66
Bilag: 13 eksterne, vedlagt som .zip-fil
Afsluttet 09.01.2025

Rapportens indhold er frit tilgængeligt, men offentliggørelse (med kildeangivelse) må kun ske efter aftale med forfatteren.

Forord

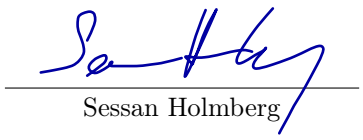
Dette afgangsprojekt er skrevet af studerende Sessan Holmberg på 7. semester på diplomingeniøruddannelsen i Byggeri & Anlæg, med specialeretning i Vand & Miljø, på Aalborg Universitet. Afgangsprojektet svarer tidsmæssigt til de afsluttende 15 ECTS-point af uddannelsen, og udarbejdes normalt i forlængelse af et projekt, den studerende har fået kendskab til i løbet af det obligatoriske praktikforløb, der er afsluttet inden afgangsprojektet. Rammerne for projektet er givet i studieordningen for diplomingeniøruddannelsen, under modulet for afgangsprojektet på 7. semester, som beskrevet af Studienævn for Byggeri, By og Miljø [2021].

Tak til Søren Thorndahl for kompetent og behagelig vejledning. Desuden stor tak til Artelia Aalborg, særligt afdelingerne Klima & Afløb, Miljø & Natur og Vand & Kloak for at stille arbejdsplads, data, sparring og vejledning til rådighed, samt til Ole Munch Johansen og WatsonC for at stille deres modelleringer til rådighed og svare på spørgsmål. En særlig tak skal lyde til Mikkel Schumacher, Artelia Aalborg for meget værdsat vejledning, oplæring og sparring.

Læsevejledning

Til kildehenvisningerne i dette projekt benyttes AGSM - Harvard Anglia. Kilderne vil stå i teksten med hyperlinks, markeret med brackets [Forfatter, År] og er opgivet i litteraturlisten efter alfabetisk rækkefølge. Tabeller og figurer er nummereret i henhold til kapitlet, således at tabel 3.2 er den anden tabel i kapitel 3. Ved henvisning til formler og lignende er nummereringen markeret i parenteser. Ud over hovedrapporten er relevante filer vedlagt som eksterne bilag. Oversigt over disse findes i Bilag A.

Rapporten er udarbejdet af



Sessan Holmberg

Abstract

Prioritization of restoration of floodplain wetlands depends on calculations of future effects on the release of climate gases and nutrients (nitrogen and phosphorus). This project investigates how much these calculations are influenced by the choice of tool for modeling the present and future groundwater levels in the project area.

The climate lowland project of Sønder Borup has been modeled with Modflow by WatsonC and with VASP and a semi-automated GIS tool by Artelia and the author. Differences and similarities of these three outcomes are explored. Modeling of future groundwater levels seems to depend more on the current levels that are used to calibrate the model, than on the choice of modeling method.

Calculations of effects on climate gases are entirely independent of the modeled groundwater levels and are thus not influenced by the chosen method of modeling. In some projects, the effects on nitrogen are potentially influenced by the modeling of flooding by streamwater and thus the modeling of future water levels of the area. Calculation of the release of phosphorous, on the other hand, is very dependent on future wetness. Future water levels are used to inform the evaluation of the future wetness of subdivisions of the project area into three categories (permanently wet, partially wet or dry), and these categories are used in the calculation. Therefore the exact values are less important than the general level.

In conclusion, experience with the type of projects and knowledge of the specific area seems more important than which method of modeling is used.

Indholdsfortegnelse

1 Indledning **1**

1.1 Introduktion til Klima-Lavbundsprojekter . . . 1

1.2 Beregnings- og modelleringskrav til klima-lavbundsprojekter . . . 2

1.3 Hvordan modelleres Klima-Lavbundsprojekter? . . . 3

1.3.1 Vandløbsvandspejlsmodellering . . . 3

1.3.2 Afvandingskort . . . 4

1.4 Introduktion til Sønder Borup Klima-Lavbundsprojekt . . . 4

2 Problemformulering **6**

2.1 Afgrænsning . . . 6

3 Sønder Borup Klima-Lavbundsprojekt **7**

3.1 Præsentation af projektområdet . . . 7

3.2 Beskrivelse af området . . . 9

3.2.1 Opland . . . 10

3.2.2 Hydrometri . . . 13

3.2.3 Dræningsforhold . . . 16

3.3 Projektforslag 1: Fra forundersøgelsen . . . 17

3.4 Eksisterende beregninger fra WatsonC . . . 18

3.4.1 Afvandingskort . . . 21

4 Modellering med VASP og GIS **27**

4.1 Nuværende situation . . . 27

4.1.1 Vandspejlsberegning i VASP (Sessan) . . . 27

4.1.2 Afvandingskort ud fra automatiseret GIS-interpolation (Sessan) . . . 35

4.1.3 Forskel mellem WatsonC's og Sessans modelleringer . . . 38

4.1.4 Modellering i VASP/GIS-værktøj ved erfaren modelør (Artelia) . . . 41

4.2 Projektforslag 2: Fra projekteringsfasen . . . 43

4.2.1 Delkonklusion . . . 44

5 Stofberegninger **45**

5.1 Klimagasudledninger . . . 45

5.1.1 Projektforslag 1: Fra forundersøgelsen . . . 45

5.1.2 Projektforslag 2: Fra projekteringen . . . 46

5.2 Kvælstof . . . 47

5.2.1 Projektforslag 1: Fra forundersøgelsen 49
5.2.2 Projektforslag 2: Fra projekteringen 49
5.3 Fosfor 50
5.3.1 Projektforslag fra forundersøgelsen på baggrund af WatsonC's Modflow-modellering 52
5.3.2 Delkonklusion 54

6 Diskussion **55**

7 Konklusion **57**

Litteratur **58**

Bilag A Digitale bilag **60**

Kapitel 1

Indledning

Historisk har store dele af Danmark været vådere end i dag. Især i ådale og andre lavtliggende områder har grundvandet stået højt, og i mange folkeeventyr kommer konger og andet godtfolk i problemer i moser, hvorfra de må hjælpes ud af mere eller mindre venligtsindede væsner for en pris [Liljensøe, 1979]. Også gamle kort som Høje Målebordsblade og mange stednavne indeholdende ord som kær og mose vidner om våde forhold. I områder, hvor høj vandstand tidligere har givet grobund for vækst af sphagnum eller tørvemos og samtidig forhindret nedbrydelsen af dette, er der lagret store mængder kulstof. For at lette eller muliggøre landbrugsdrift, er der gennem tiderne gravet afvandingsgrøfter og nedlagt dræn. Når de våde, kulstofrige arealer drænes, og der kommer ilt til, frigives meget af dette kulstof som CO_2, hvilket bidrager til at øge atmosfærens andel af drivhusgasser og dermed den globale opvarmning [Styrelsen for Grøn Arealomlægning og Vandmiljø, 2024*a*]. I 2013 udledte drænede, organiske jorder 3,3 tons CO_2-ækvivalenter. Det er ca. 1/3 af landbrugets og ca. 6 % af Danmarks samlede udledning af drivhusgasser [Olesen, 2016].

1.1 Introduktion til Klima-Lavbundsprojekter

Klima-Lavbundsordningen er en del af arbejdet for at reducere udledningen af drivhusgasser fra landbruget. Det er en tilskudsordning, der skal kompensere lodsejere for at tage lavtliggende jorde permanent ud af omdrift, og skabe en mere naturlig hydrologi, som igen gør området vådt og standser udledningen af drivhusgasser fra den tilbageblevne tørv [Styrelsen for Grøn Arealomlægning og Vandmiljø, 2024*a*]. Ordningen hører under Miljøstyrelsen og er én af flere ordninger, der har fokus på udtagning af lavtliggende landbrugsjorder, hvoraf de fleste hører under Landbrugsstyrelsen [Styrelsen for Grøn Arealomlægning og Vandmiljø, 2024*b*]. Naturstyrelsen gennemfører dog også Klima-Lavbundsprojekter på deres egen anlægsbevilling. En oversigt over de forskellige udtagningsordninger ses i tabel 1.1.

Ordning	Styrelse	Projektejer
Kvælstofvådområde	Landbrugsstyrelsen	Kommuner
Lavbundsprojekter	Landbrugsstyrelsen	Kommuner
Fosforvådområder	Landbrugsstyrelsen	Kommuner
Restaurering af Ådale	Landbrugsstyrelsen	Kommuner
Klima-Lavbund	Miljøstyrelsen	Lodsejere, kommuner, fonde
Klima-Lavbund	Naturstyrelsen	Kommuner

Tabel 1.1 Overblik over tilskudsordninger for udtagning af landbrugsjorder [Naturstyrelsen, Landbrugsstyrelsen og Miljøstyrelsen, 2024].

Målet med Miljøstyrelsens Klima-Lavbundsordning, som er den, der vil blive arbejdet med her, er, at den

skal være smidig og til at gå til for mindre projekter uden jordfordeling. Det primære formål med ordningen er klimaeffekten, som skal være sandsynliggjort for at et projekt kan gennemføres. Der gives først tilsagn til tilskud til en forundersøgelse og foreløbigt tilsagn til anlæg, som genvurderes efter forundersøgelsen, hvor der skal gives opdateret tilsagn, før anlægsarbejdet kan sættes i gang. Opdateret tilsagn gives på baggrund af omkostningseffektivitet af klimaeffekten. For projekter, som udelukkende baserer sig på klimaeffekt, skal omkostningen per ton CO_2-reduktion være under kr. 8.533, mens den for projekter med flere formål kan være op til kr. 17.066 per ton CO_2-reduktion, alt efter hvor mange formål, der understøttes. En reduktion af kvælstofudledning fra området gør således, at projektet må koste op til kr. 12.800 per ton CO_2-reduktion. [Naturstyrelsen, Landbrugsstyrelsen og Miljøstyrelsen, 2024] [Miljøstyrelsen, 2024*a*]

1.2 Beregnings- og modelleringskrav til klima-lavbundsprojekter

Forundersøgelsen på et Klima-Lavbundsprojekt danner grundlag for vurdering af, om projektet skal godkendes til gennemførelse, og skal derfor sandsynliggøre en omkostningseffektiv effekt på klimagas-, kvælstof- og fosforudledningen fra projektområdet. Til det formål skal der udarbejdes afvandingskort for området før og efter projektets udførelse, og der skal gennemføres beregninger af klimagas-, kvælstof- og fosforudledning ved hjælp af Excel-filer stillet til rådighed af Miljøstyrelsen [Miljøstyrelsen, 2024*d*]. Til beregning af effekten på kvælstofudledning skal der bruges en modellering af areal- og tidsmæssigt omfang af oversvømmelser med vandløbsvand på baggrund af projekttiltag [Miljøstyrelsen, 2023]. Til beregning af effekten på fosforudledning skal der derudover bruges en grundvandsstand efter projektgennemførelse for et antal prøvefelter samt vandløbsvandspejl − begge dele for en sommermiddelsituation [Miljøstyrelsen, 2024*c*].

Afvandingskortene angiver, hvor grundvandsspejlet befinder sig i forhold til jordoverfladen. Der opgives i hektar, for hvor store dele af området det gælder, at grundvandsspejlet befinder sig mellem terræn og -0,25 m, mellem -0,25 m og -0,50 m og så videre. Dette gøres ifølge vejledningen for årsmiddel, sommermiddel, vintermiddel samt ekstremhændelser, både før og efter projektets gennemførelse [Miljøstyrelsen, 2024*d*]. I praksis kan man argumentere for, at lodsejeren får brugbar information fra afvandingskort for sommermiddel, vintermiddel og vintermedianmaksimum. Sommermiddel indikerer, hvad området kan bruges til om sommeren, vintermiddel tilsvarende om vinteren − for eksempel i forhold til afgræsning eller høslet. Vintermedianmaksimum giver en indikation af niveauet for det vådeste på en normal vinter.

Ud over afvandings- og udledningseffekter skal der i forundersøgelsen redegøres for nuværende forhold og konsekvenser i forhold til planforhold og myndighedstilladelser, tekniske anlæg, beskyttede arter og vandmiljø. Dette ligger dog uden for denne opgaves fokus.

Da gennemførelsen af Klima-Lavbundsprojekter afhænger af den beregnede omkostning per ton CO_2-reduktion, og eventuel reduktion af kvælstofudledning har indflydelse på den økonomiske ramme, er det relevant at overveje, hvordan disse effekter beregnes, og om metoden for modellering af grundvandsspejl i projektområdet kan have betydning for udfaldet.

1.3 Hvordan modelleres Klima-Lavbundsprojekter?

For at udarbejde de afvandingskort, som danner grundlag for opgørelsen af afvandingsforhold før og efter projektgennemførelse, kan der tages udgangspunkt i vandspejlsniveauet på det tilgrænsende vandløb, når projektet har et sådant. I udgangspunktssituationen interpoleres grundvandsstanden, ud fra dette vandspejl, ud gennem projektområdet, og interpolation og vandspejlberegning kalibreres med vandstandspejlinger og hensyntagen til eksisterende afvandingsgrøfter og dræn [WSP, 2022].

Herefter projekteres relevante projekttiltag, og eftersituationen modelleres ved hjælp af de kalibrerede værktøjer. Resultaterne herfra bruges til optegning af afvandingskort for efter-situationen, som igen leverer data til udledningseffektberegningerne for fosfor.

Foretages der ingen ændringer på det dominerende vandløb i projektet, kan der argumenteres for, at en grundvandsmodellering kan danne grundlag for afvandingskortene, og vandløbsvandspejlsmodelleringen bliver således overflødig for den del. Dog skal vandløbsvandspejlet i en sommermiddelsituation bruges til beregning af projektets effekt på udledningen af fosfor.

1.3.1 Vandløbsvandspejlsmodellering

Der er ingen officielle krav til, hvilke redskaber der anvendes til fremstillingen af afvandingskort og -forhold. Det mest brugte værktøj til vandløbsvandstandsberegninger i Danmark er VASP, som er udviklet af Orbicon/WSP [Orbicon WSP, 2020]. Der findes dog også gratis værktøjer, der kan bruges til vandstandsberegninger for vandløb. Den amerikanske hærs ingeniørkorps stiller et værktøj til vandløbsanalyser til rådighed, HEC-RAS, som blandt andet, ligesom VASP, kan bruges til stationære simulationer af vandspejl [US Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center, 2025].

VASP har den fordel, at det er ret simpelt, og brugen af det er udbredt, så mange opmålinger af vandløb og lignende ligger på VASP-filformat. Disse kan så rekvireres fra for eksempel den relevante kommune, som generelt er vandløbsmyndighed, og indlæses direkte i VASP. Dette format kan ikke indlæses direkte i HEC-RAS, som også umiddelbart bruger flere oplysninger per tværsnit end VASP. For eksempel angives der i VASP et samlet manningtal for en strækning af vandløbet, mens der i HEC-RAS skal angives manningtal for hovedkanal og hver side af profilen for hvert enkelt tværsnit. Til gengæld er HEC-RAS gratis.

Også MIKE+ kan bruges til modellering af vandspejl, og desuden antal dage med oversvømmelser. Det kan således give lidt mere præcise og flere oplysninger. Dog sker dette på bekostning af tunge og tidskrævende modelleringer [DHI, 2025].

1.3.2 Afvandingskort

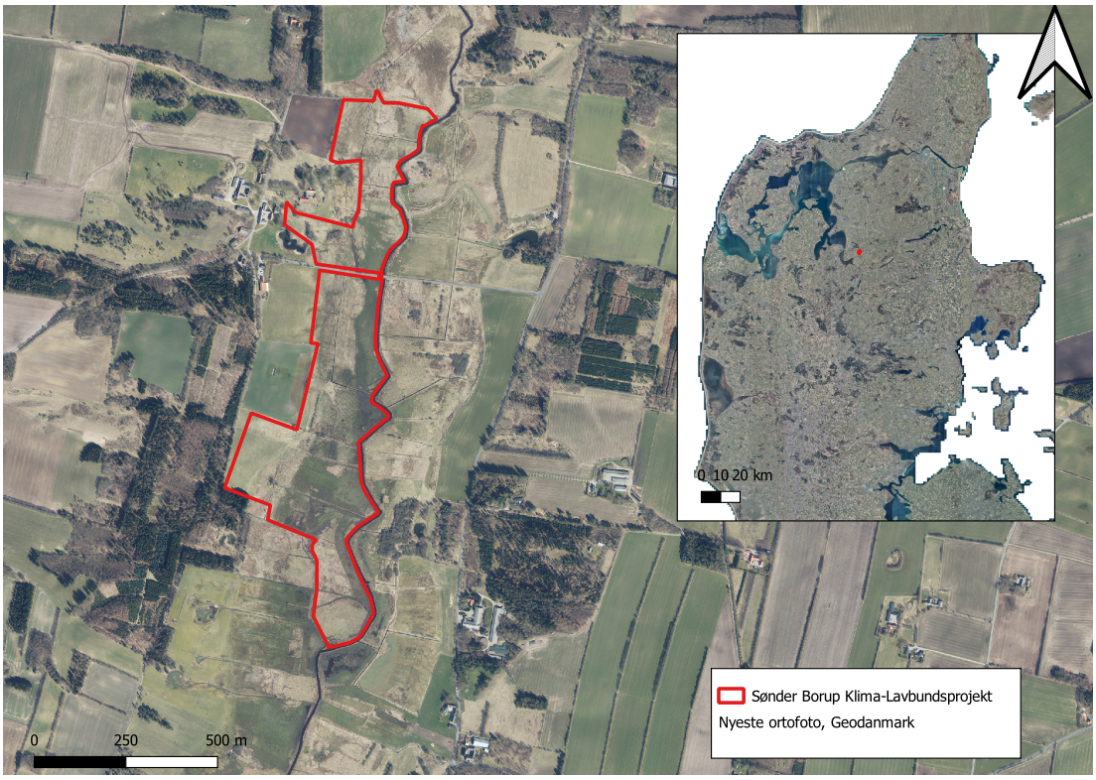
WSP kombinerer VASP med et indbygget Ådalsanalyse-værktøj, som dog ikke findes i den version af VASP, som sælges ud af huset [WSP, 2022]. Andre virksomheder må så finde deres egne løsninger på, hvordan de kommer fra vandløbsvandspejl til afvandingskort. En udbredt og tidskrævende løsning er at analysere og interpolere i GIS.

En anden mulighed er at bruge Modflow, som er et gratis program udviklet af U.S. Geological Survey. Modflow bruger finite difference til at løse ligningen for grundvandsstrømning og bruges til at simulere grundvandsstrømninger og -spejl [U.S. Geological Survey, 2022]. I projektområder, hvor der ikke foretages ændringer på det dominerende vandløb, kan en grundvandsmodellering stå alene som grundlaget for udarbejdelse af afvandingskort.

Artelia er ved at udvikle et værktøj til at automatisere GIS-interpolations-arbejdsgangen, og det er intentionen at anvende dette værktøj i dette projekt og sammenligne resultatet fra WatsonC's Modflow-modellering hermed. Herefter vil der blive taget udgangspunkt i et Klima-Lavbundsprojekt, som Artelia har udført en teknisk forundersøgelse på, med assistance fra WatsonC [Artelia, 2024].

1.4 Introduktion til Sønder Borup Klima-Lavbundsprojekt

På lodsejers ønske har Artelia i løbet af 2023 og 2024 gennemført en teknisk forundersøgelse på et Klima-Lavbundsprojekt øst for Sønder Borup, ned til Simested Å i Viborg Kommune. Placeringen af projektet ses på figur 1.1. Der er tale om et areal på 29,57 hektar udlagt til permanent græs, bestående af 3 matrikler, der alle ejes af samme lodsejer.



Figur 1.1 Oversigt over projektarealet

Dette klima-lavbundsprojekt danner udgangspunkt for projektets problemformulering.

Kapitel 2

Problemformulering

På baggrund af indledningen opstilles her det konkrete problem, der udgør fokus for projektet. Problemformuleringen lyder således:

Hvor stor indflydelse har valget af modelleringsværktøj på den beregnede effekt på udledningen af klimagasser, kvælstof og fosfor ved gennemførelsen af klima-lavbundsprojektet Sønder Borup?

Specifikt undersøges forskellen på modellering af vandspejl i vandløb med VASP i kombination med optegning af afvandingsforhold ved hjælp af delvist automatiseret interpolation i GIS i forhold til simpel grundvandsmodellering med Modflow.

Dette undersøges ved hjælp af følgende understøttende underspørgsmål:

- Hvor stor forskel giver optegning af afvandingskort ved hjælp af henholdsvis vandspejlsmodellering med VASP i kombination med interpolation i GIS og simpel modellering med Modflow?
- Hvor meget afhænger beregningerne af udledningseffekter af modelleringen af vandspejl/afvandingsklasser i vandløbet og projektområdet?
- Hvor stor forskel på beregnet udledningseffekt giver de to modelleringsmetoder anledning til?
- Hvad kan ellers influere på de beregnede udledningseffekter?

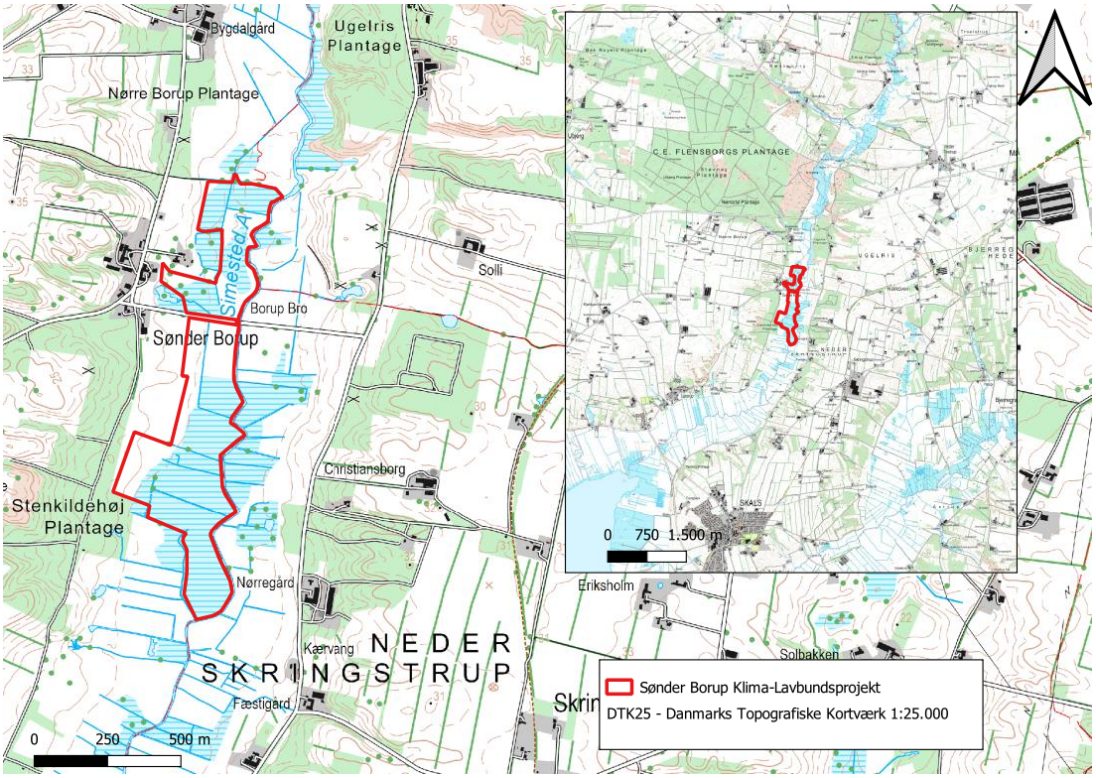
2.1 Afgrænsning

Der tages udgangspunkt i et klima-lavbundsprojekt ved Sønder Borup, som Artelia har udarbejdet forundersøgelse til, og hvor WatsonC har udført modellering og optegning af afvandingsforhold ved brug af Modflow. Der fokuseres på modellering og optegning af afvandingsklasser og beregning af udledninger.

Sønder Borup Klima-Lavbundsprojekt

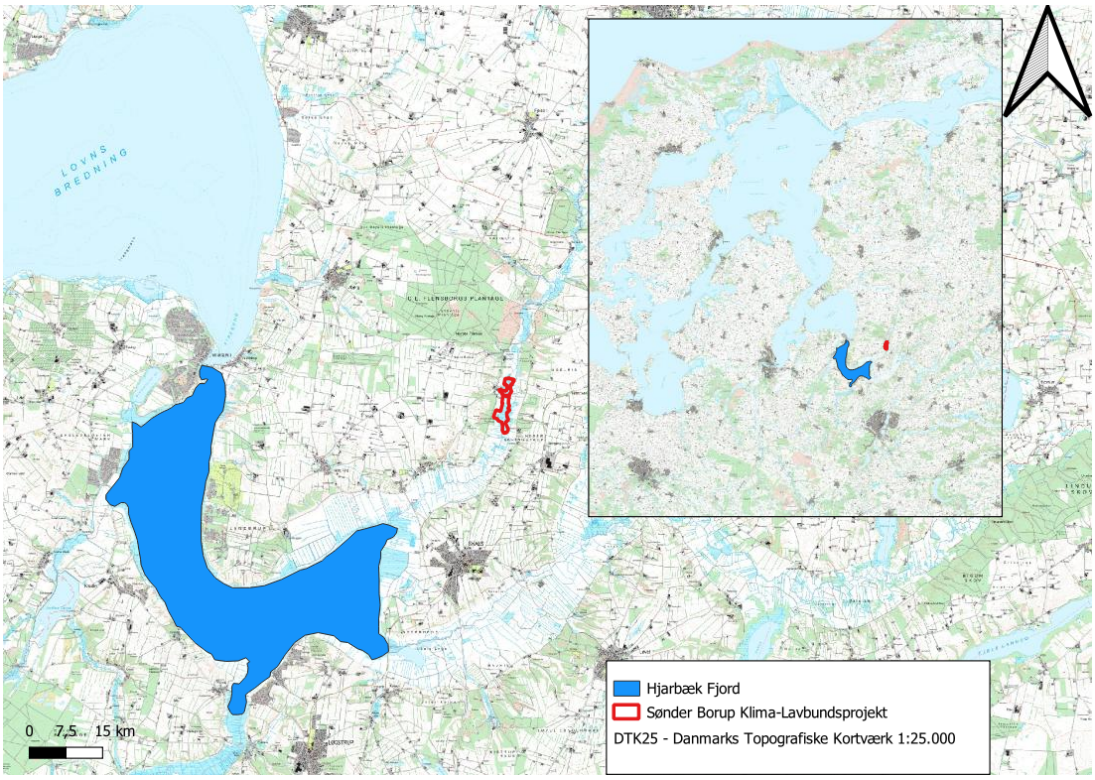
3.1 Præsentation af projektområdet

Som det fremgår af det topografiske kort på figur 3.1, er projektområdet placeret i en ådal, som er præget af afvandingsgrøfter og vådområder.



Figur 3.1 Topografisk oversigt over projektarealet

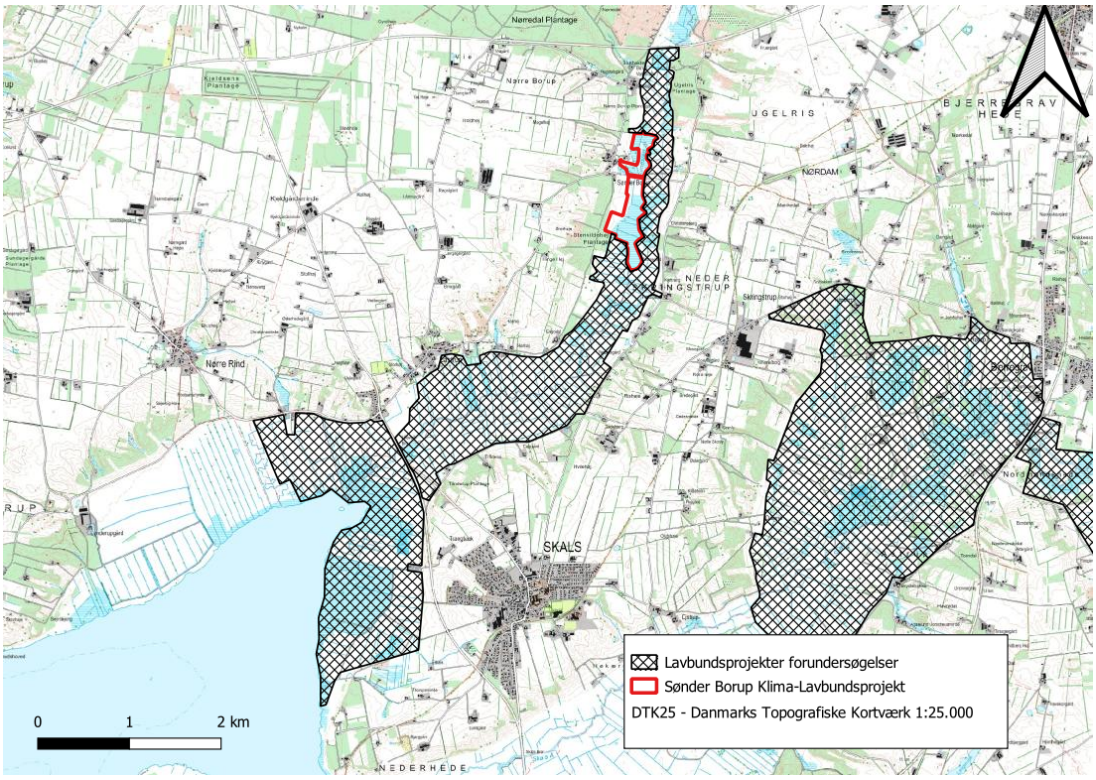
Simested Å udmunder i Hjarbæk Fjord, som er en del af Limfjorden - se figur 3.2. Hjarbæk Fjord har historisk været plaget af algevækst og iltsvind på baggrund af næringsstofudledning, som i høj grad sker via de å-systemer, som udløber i fjorden. Simested Å er både kortere og har et mindre opland end Skals Å, som bidrager med den største mængde vand til Hjarbæk Fjord. På trods af halv størrelse af både opland og døgnvandføring, har vandet i Simested Å en så meget højere koncentration af kvælstof, at den samlet leverer mere kvælstof til fjorden. [Ebbensgaard, 2022]



Figur 3.2 Hjarbæk Fjord

På baggrund af dette er der opmærksomhed på at gennemføre projekter, der kan mindske udledningen af kvælstof via Simested Å i alle 4 oplandskommuner: Rebild, Mariagerfjord, Vesthimmerland og Viborg. I det umiddelbare nærområde har Viborg Kommune Lavbundsprojekter i forundersøgelse i Simested Ådal fra Skivevej, nord for denne rapports projektområde og til Simested Ås udløb i Hjarbæk Fjord, som det fremgår af figur 3.3. Det nordlige af disse projekter grænser op til denne rapports projektområde mod nord, øst og syd.

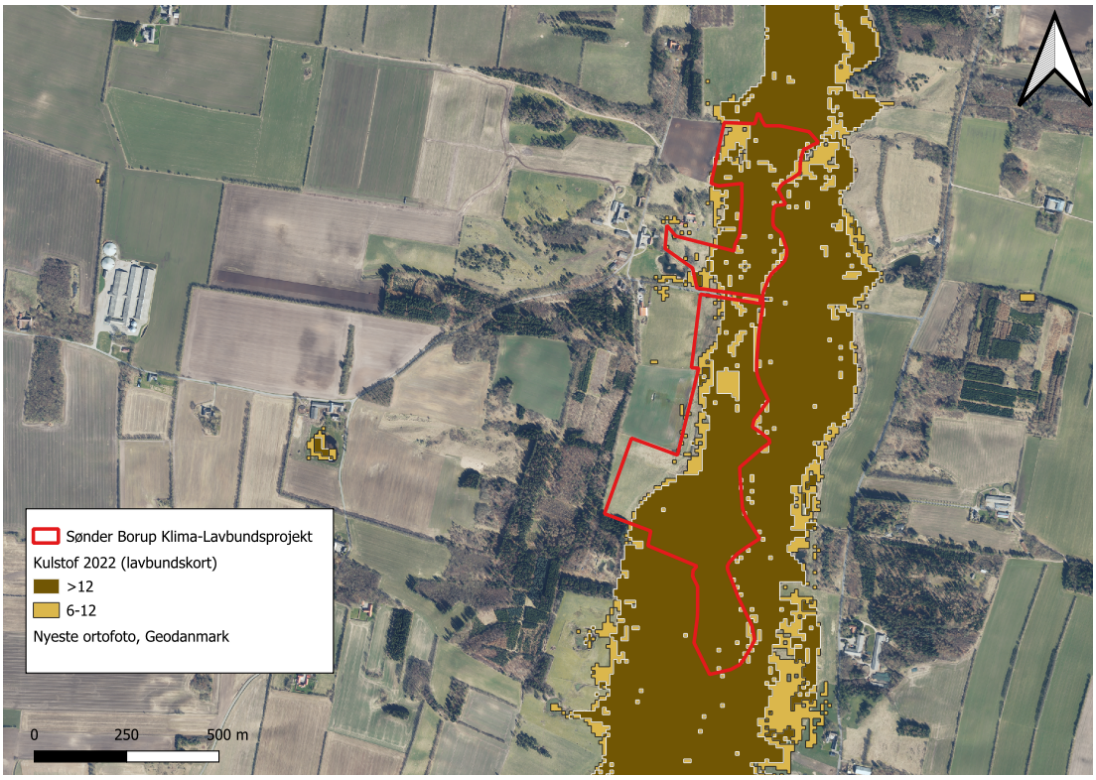
Viborg Kommunes Lavbundsprojekter ved Simested Å er henholdsvis ca. 300 og 330 hektar, involverer flere lodsejere samt jordfordeling og kan dermed umiddelbart forventes at tage mellem 5 og 10 år at realisere. [Viborg Kommune, 2024] Lodsejeren på det nærværende klima-lavbundsprojekt håber på at fremskynde realiseringsprocessen for hans projektområde ved at ansøge og udføre det som et separat projekt frem for at deltage i Viborg Kommunes Lavbundsprojekt.



Figur 3.3 Lavbundsprojekter i forundersøgelse

3.2 Beskrivelse af området

For at kvalificere til et Klima-Lavbundsprojekt, skal 60 % af projektområdet være registreret på Kulstof 2022-kortet som havende et organisk kulstofindhold på mindst 6 % [Miljøstyrelsen, 2024*d*]. På figur 3.4 ses Kulstof 2022-kortet for projektområdet.



Figur 3.4 Kulstof 2022 [Arealinformation, 2024]

Fordelingen af kulstofholdige arealer i projektområdet ifølge Kulstof 2022-kortet ses i tabel 3.1

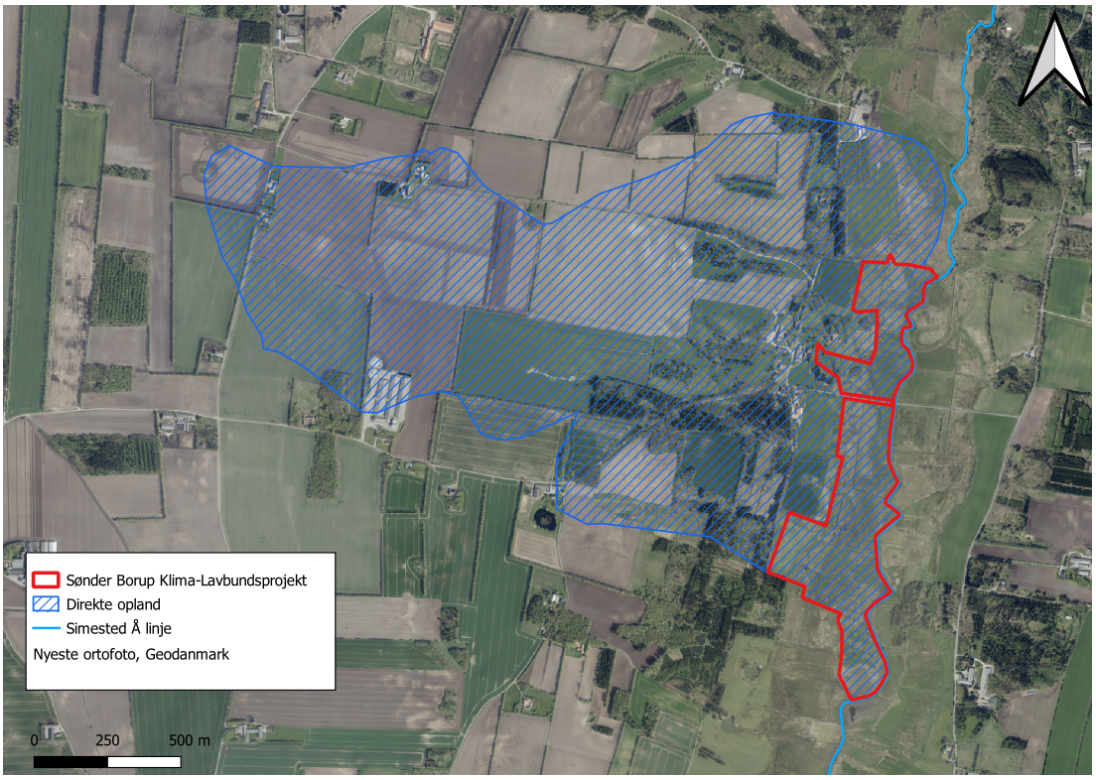
Type	Areal	procent
<6% tørv	4,91 ha	17 %
6-12 % tørv	3,59 ha	12 %
>12 % tørv	21,03 ha	71 %
Ialt tørvejord	24,62 ha	83 %
Projektområde	29,53 ha	100 %

Tabel 3.1 Tørvejordsfordeling i projektområde

I det følgende undersøges og kortlægges hydrologiske karakteristika for projektområdet, som det fremstår før projektets gennemførelse.

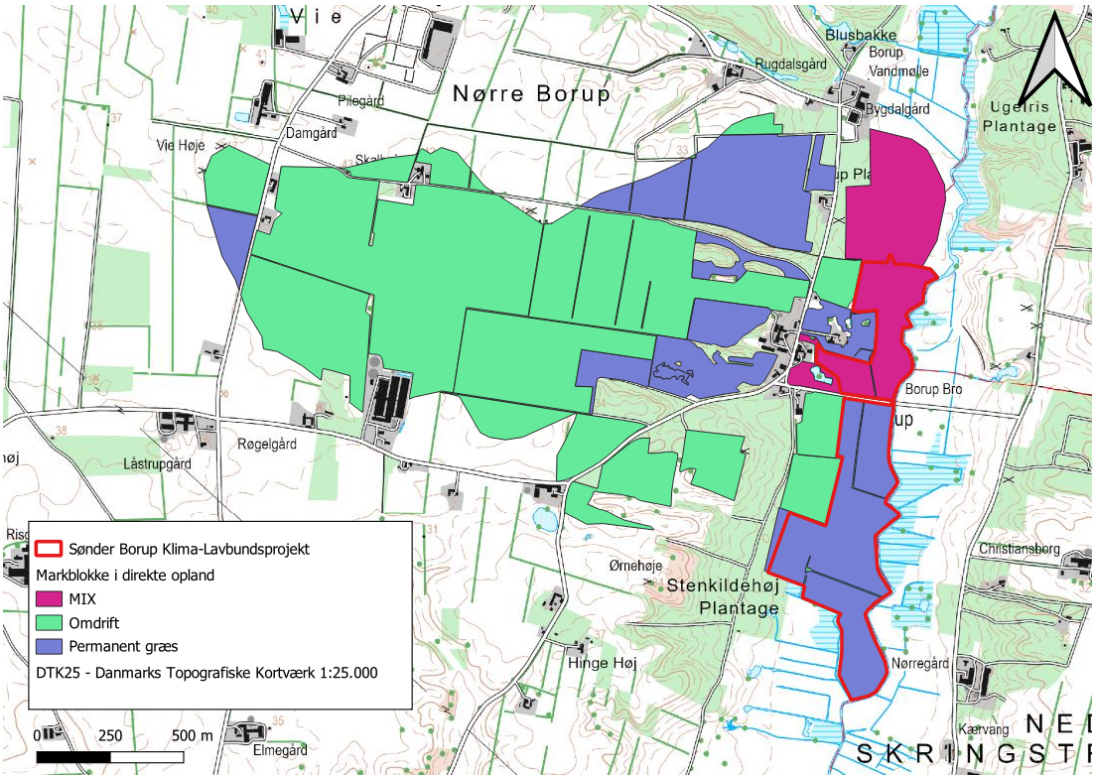
3.2.1 Opland

Ved hjælp af SCALGO og vandskelskort fra Arealinformation [Arealinformation, 2024] er det direkte opland for projektområdet fundet - det ses på figur 3.5. Som det fremgår af figuren, består en stor del af det direkte opland af marker i omdrift. Der er således potentiale for, at en forlænget hydrologisk opholdstid i projektområdet kan bidrage til at mindske kvælstofudledningen til Simested Å på denne strækning.



Figur 3.5 Direkte opland til projektområdet – 257 hektar [SCALGO, 2024] [Arealinformation, 2024]

Ifølge Landbrugsstyrelsens kort over Markblokke anvendes markerne i projektområdet og dets direkte opland, som det fremgår af figur 3.6.



Figur 3.6 Markblokke i projektområdet og dets direkte opland [Arealinformation, 2024]

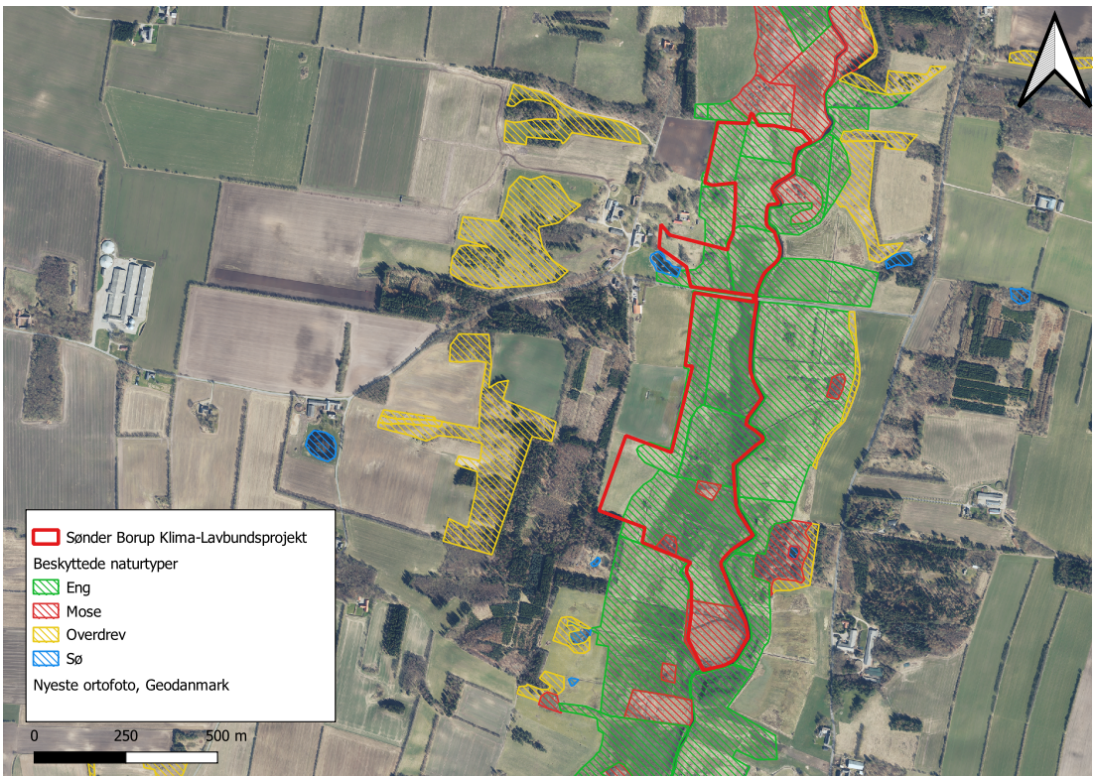
Dette giver en arealmæssig fordeling, som det fremgår af tabellerne 3.2 og 3.3.

Type	Areal
Omdrift	125,92 ha
Permanent græs	58,70 ha
Mix	22,17 ha

Tabel 3.2 Landbrugsjord i direkte opland

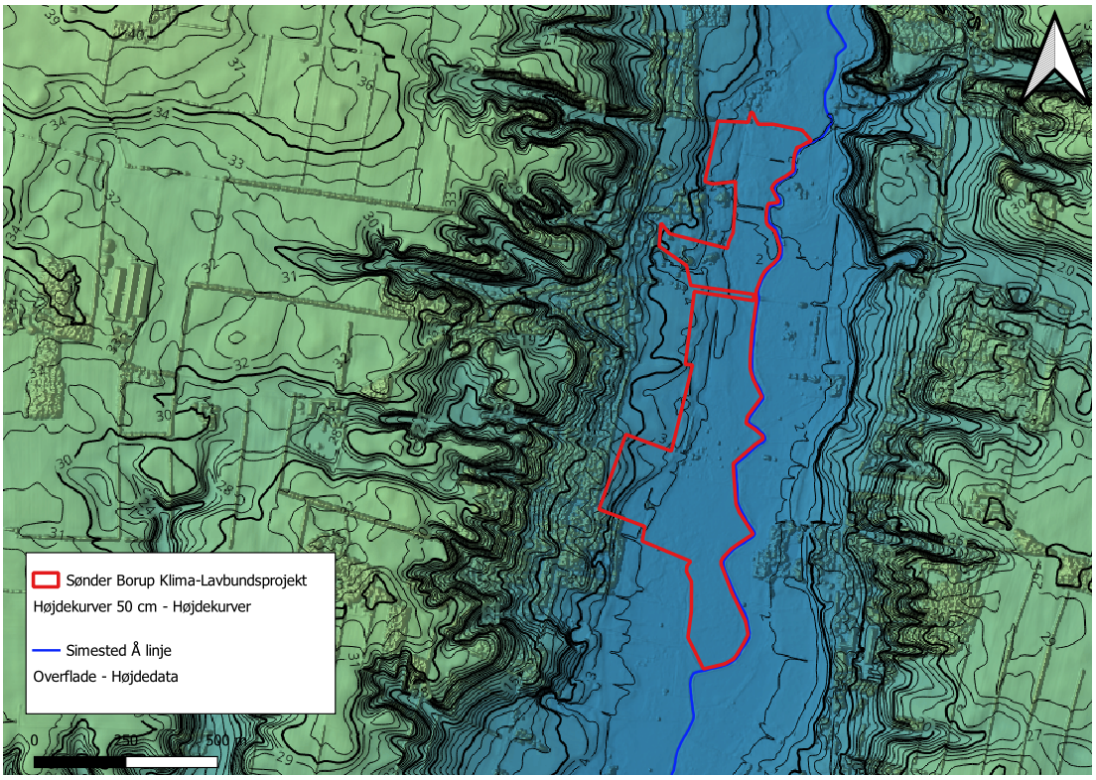
Type	Areal
Omdrift	0 ha
Permanent græs	20,48 ha
Mix	8,73 ha

Tabel 3.3 Landbrugsjord projektområdet



Figur 3.7 Beskyttede naturtyper i projektområdet [Arealinformation, 2024]

Som forventet er projektområdet lavtliggende, med kun et meget lille areal, der kommer over kote 5,00 DVR90. Størstedelen af arealet ligger i den meget flade ådal i kote 1-2,5. Højdeforhold for projektområdet ses på figur 3.8.



Figur 3.8 Højdeforhold [SCALGO, 2024]

3.2.2 Hydrometri

For at finde den mængde vand, der tilføres oplandet i form af regn, anvendes vandløbsafstrømningen som proxy for nettonedbøren. Dette gøres på baggrund af ligningen for vandbalancen, som ses i ligning 3.2.1 [Karlsen and Sørensen, 2014].

$$N = E + A_o + A_u + Q + \Delta R \tag{3.2.1}$$

Hvor:

N	Nedbørsmængde [mm/år]
E	Aktuel fordampning [mm/år]
A_o	Vandløbsafstrømning [L/s]
A_u	Undergrundsafstrømning [L/s]
Q	Grundvandsindvinding [m^3/år]
ΔR	Ændring af områdets vandindhold [m^3/år]

Overfladeafstrømningen isoleres, hvilket giver ligning 3.2.2

$$A_o = N - E - A_u - Q - \Delta R \tag{3.2.2}$$

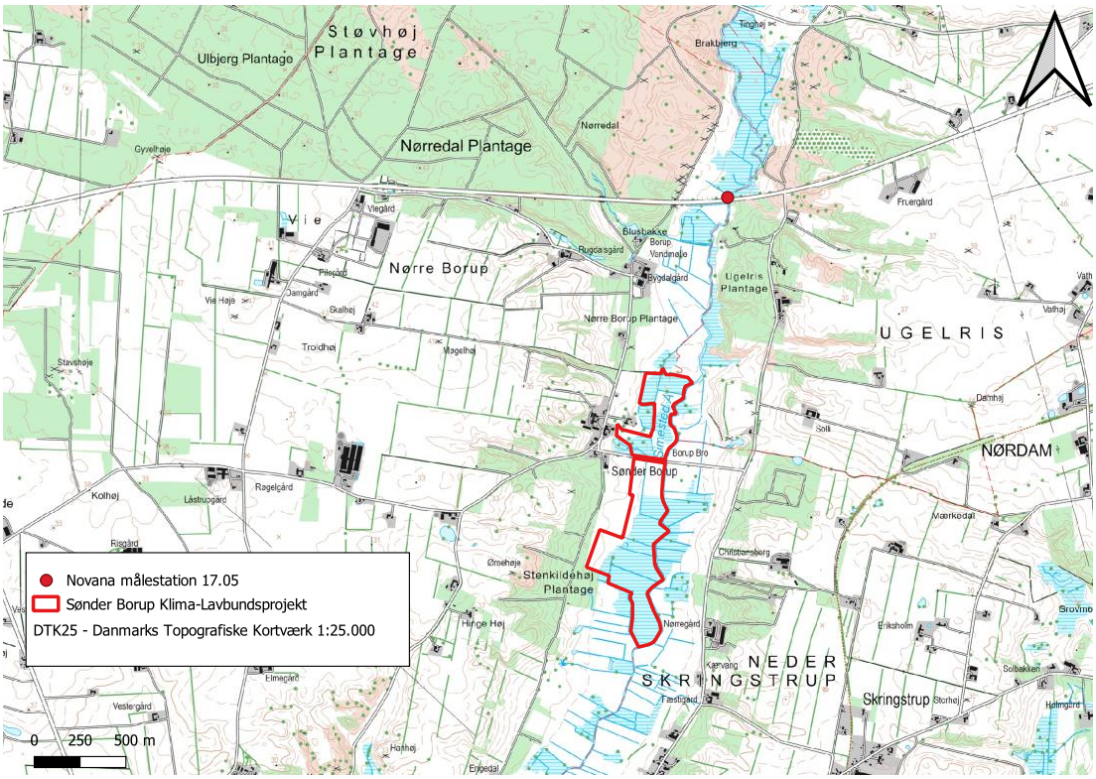
Da undergrundsafstrømning, grundvandsindvinding og ændring af områdets vandindhold typisk kan negligeres indenfor et samlet vandløbsopland, er overfladeafstrømningen således tilnærmelsesvist lig med nettonedbøren i området, som den fremgår af ligning 3.2.3

$$A_o = N - E = N_{Net} \tag{3.2.3}$$

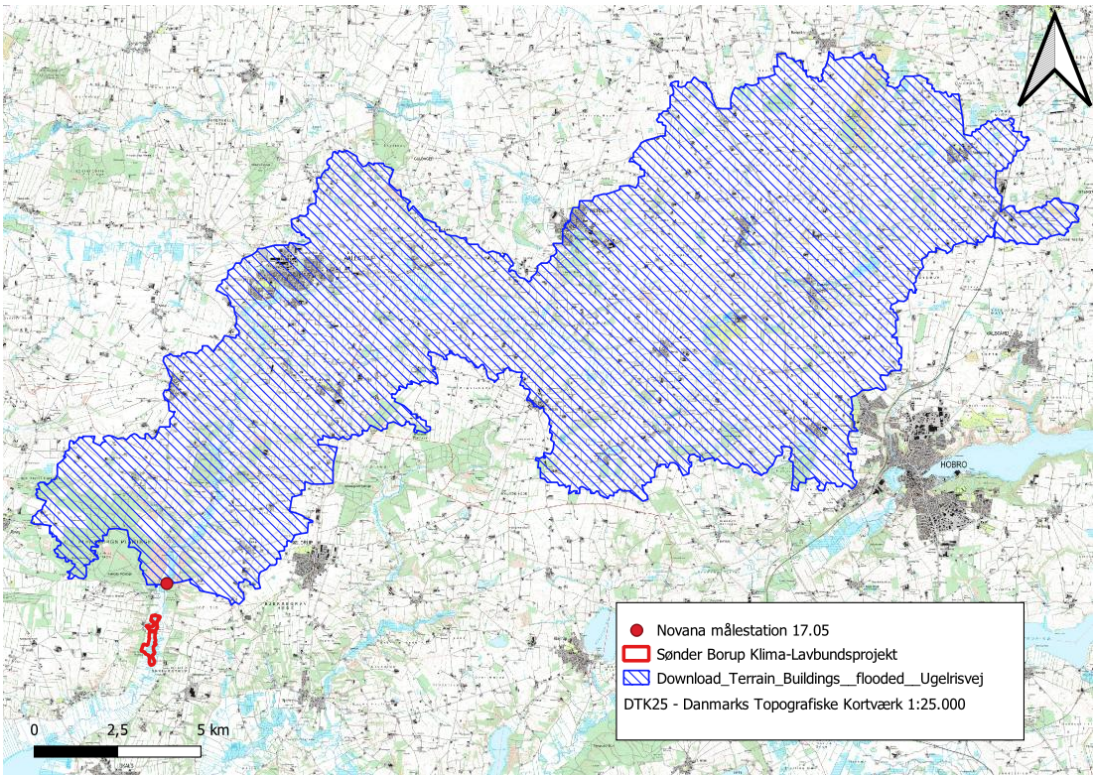
Nettonedbøren i området findes derfor ved ligning 3.2.4

$$N_{Net} = \frac{\text{årsmiddelafstrømning}}{\text{vandopland}} \tag{3.2.4}$$

Årsmiddelafstrømningen antages at være ens for hele Simested Ås opland og findes på baggrund af offentligt tilgængelige måledata. Ca. 1 km nord for projektområdet, hvor Skive-Hobrovej krydser Simested Å, er der placeret en Novana målestation 17.05 Simested Å, Skive-Hobrovej, som måler vandstanden i åen og udleder vandføringen på baggrund af denne. Punktet har et opland på 218,25 km^2, og data fra målestationen benyttes til at udregne den karakteristiske afstrømning for projektområdet samt nettonedbøren. Placeringen af målestationen ses på figur 3.9, og vandløbsoplandet i punktet ses på figur 3.10 [WSP Danmark, 2024].



Figur 3.9 Placering af målestation



Figur 3.10 Vandløbsopland til målestationen SCALGO [2024]

På Vandportalen.dk findes vandføringsdata for målestationen fra 1992 til 2022. Disse danner grundlag for statistisk behandling i Excel, vedlagt i Bilag A, der giver de størrelser for vandføring og afstrømning, der ses i tabel 3.4.

Størrelse	$\frac{l}{s}$	$\frac{l}{s \cdot km^2}$
Årsmiddel	2411,20	11,05
Sommermiddel	2088,94	9,57
Vintermiddel	2663,03	12,20
Sommer medianminimum	1629,00	7,46
Vinter medianmaksimum	5739,00	26,30
5-års maksimum	7340,80	33,63
10-års maksimum	7815,60	35,81

Tabel 3.4 Vandføring og afstrømning for Simested Å, målestation 17.05. [WSP Danmark, 2024]

Den karakteristiske årsmiddelafstrømning bruges sammen med årsmiddelnedbør [Spildevandskomitéen, 2023] til at finde den aktuelle fordampning, og størrelserne i tabel 3.5 fremkommer.

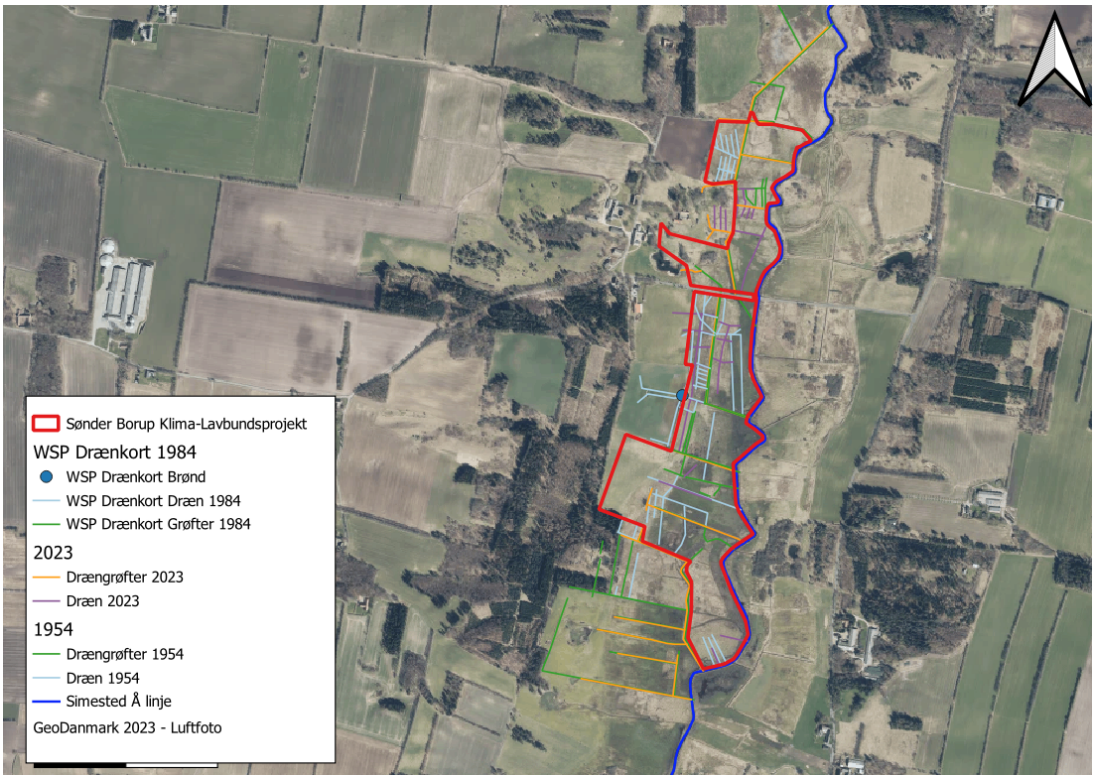
Nedbør $\frac{mm}{år}$	Aktuel fordampning $\frac{mm}{år}$	Nettonedbør $\frac{mm}{år}$
744	396	348

Tabel 3.5 Vandbalance for projektområdet

Til beregning af udledningseffekter på kvælstof og fosfor bruges automatisk indhentede oplysninger om klimanormaler, jordforhold og arealanvendelse ud fra DMIs klimagrid [Scharling, 1999].

3.2.3 Dræningsforhold

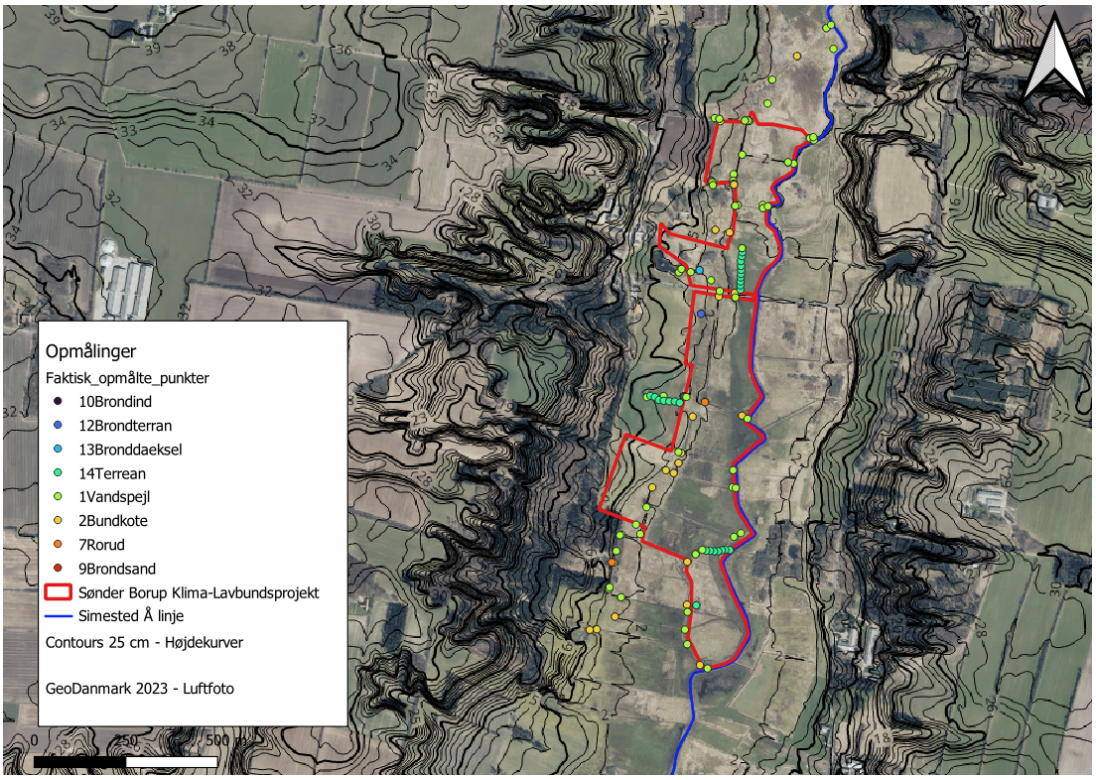
På baggrund af drænkort indhentet fra WSP, luftfoto af området fra 1954 og ortofoto fra sommeren 2023, er der optegnet de dræningsforhold, der fremgår heraf, på kortet i figur 3.11. Dræn, som ikke fremgår af drænkortet fra WSP, er optegnet efter nedsynkninger af jordoverfladen, som fremgår af ortofotos.



Figur 3.11 Formodede drænforhold i området

Der er en del usikkerhed forbundet med dræn optegnet efter ortofotos, idet det ikke vides, om det er rigtigt fortolket, eller om drænene fortsat er funktionelle. Den markerede drænbrønd er dog fundet, og i den ses 6 fungerende tilførende dræn.

På figur 3.12 ses punkter, der er foretaget opmålinger på i november 2024. Rådata fra opmålingen findes som digitalt bilag - se Bilag A.



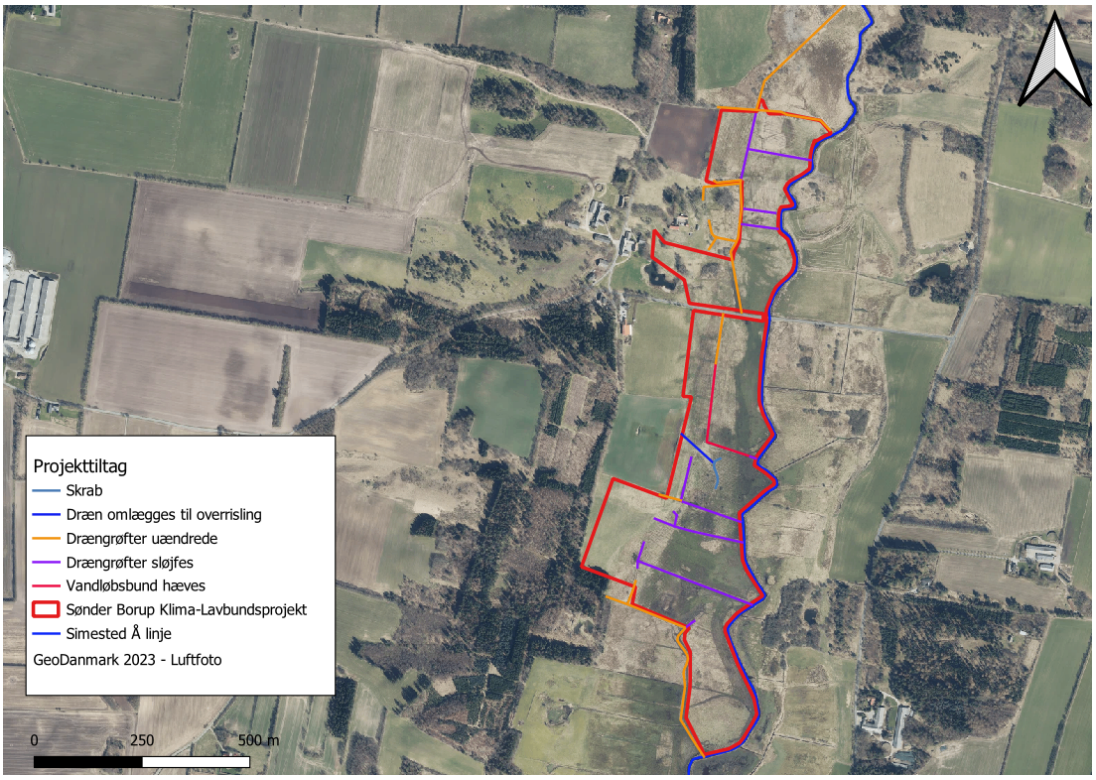
Figur 3.12 Målepunkter opmålt i projektområdet i november 2024 af Artelia

3.3 Projektforslag 1: Fra forundersøgelsen

Formålet med projektet er at hæve grundvandsspejlet, så afgasning af organisk kulstof fra tørvejorden mindskes, og at forlænge drænvandets opholdstid i området, så mere kvælstof omsættes og mindre udledes. I forundersøgelsesrapporten foreslår Artelia følgende projekttiltag:

- Omlægning af dræn til overrisling fra skrabet fordelerrende
- Sløjfning af interne drængrøfter
- Vandløbsbund hæves 20 cm

På figur 3.13 ses placeringen af de påtænkte tiltag samt de drængrøfter, der ikke ændres, for at sikre uændret afvanding af det direkte opland. Eventuelle interne dræn, der findes på området, graves over og proppes af. Det vandløb, der omtales, er Gnavs Bæk, som udspringer fra en lille sø umiddelbart vest for projektområdet lige nord for Sønder Borup Bro, hvor det løber delvist på terræn og delvist rørlagt, til det løber i en gravet, retlinet grøft umiddelbart syd for Sønder Borup Bro. Det er den sidste ca. halvdel af vandløbet, der modtager drænvand fra naboområdet og fører det til Simested Å, hvor vandløbsbunden planlægges hævet.



Figur 3.13 Planlagte projekttiltag ifølge forundersøgelsen Artelia [2024]

Det er disse tiltag, WatsonC har forholdt sig til i deres modelleringer, som fremlægges herefter.

3.4 Eksisterende beregninger fra WatsonC

Da Artelia Aalborg i forundersøgelsesperioden ikke havde medarbejdere, der kunne producere afvandingskort, blev løsningen af denne opgave købt hos WatsonC. Oplysninger og kort relaterende til den anvendte Modflow-model er alle venligt stillet til rådighed fra WatsonC og Ole Munch Johansens side.

Til løsning af opgaven brugtes Modflow i kombination med FloPy og QGIS. Modflow er en solver udarbejdet af U.S. Geological Survey, som bruger modulær finit differensmetode til at løse grundvandsligningen. Solveren er gratis, men har ikke umiddelbart nogen grafisk brugergrænseflade i sin rå form. Derfor kombinerer WatsonC den med FloPy, som er en Pythonpakke, der kan bruges til at opstille, køre og efterbehandle Modflowbaserede modeller [U.S. Geological Survey, 2021]. FloPy gør det blandt andet muligt at indlægge information i Modflowmodellen grafisk via QGIS og at visualisere resultater af modelkørslen i samme program. Mens brug af denne kombination kræver et fornuftigt kendskab til Python, er alle dele gratis.

WatsonC vælger som udgangspunkt at modellere klima-lavbundsprojekter ved hjælp af en grundvandsmodel, idet inflow af grundvand fra det hydrauliske opland og nettonedbør sammen med afledningsforhold i jordbunden bestemmer grundvandsspejlet i et område. Vandspejlet i det tilgrænsende vandløb er således en konsekvens af grundvandsspejlet og angiver snarere en dræningskote fremfor en årsag til grundvandsstanden. Man kan således argumentere for, at en grundvandsmodellering modellerer med

grundvandsstrømmen, mens en modellering, der tager udgangspunkt i vandløbsvandpejl og efterfølgende interpolation, arbejder mod grundvandsstrømmen. Eller at grundvandsmodellering modellerer ud fra årsagen, mens vandspejlsberegning og interpolation beregner ud fra konsekvenser.

Forudsætninger i WatsonC's Modflow-model

Da Modflow er et grundvandsmodelleringsværktøj, skal det bruge definerede lag med hydraulisk ledningsevne, som den kan regne på. WatsonC har valgt at bruge to lag. Et øvre, der repræsenterer tørven i projektområdet og er 5 m dybt, starter i kote 3 og har en vertikal ledningsevne, der er 100 gange lavere end den horisontale. Under dette er et nedre lag, som slutter i kote -10. I deres model for dette projektområde er der valgt de to hydrauliske ledningsevner til lagene, som fremgår af tabel 3.6.

Lag	Hydraulisk ledningsevne $[\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}]$
Øverste lag (tørv)	$0{,}75 \cdot 10^{-5}$
Nederste lag	$5 \cdot 10^{-5}$

Tabel 3.6 Anvendte hydrauliske ledningsevner i Modflow

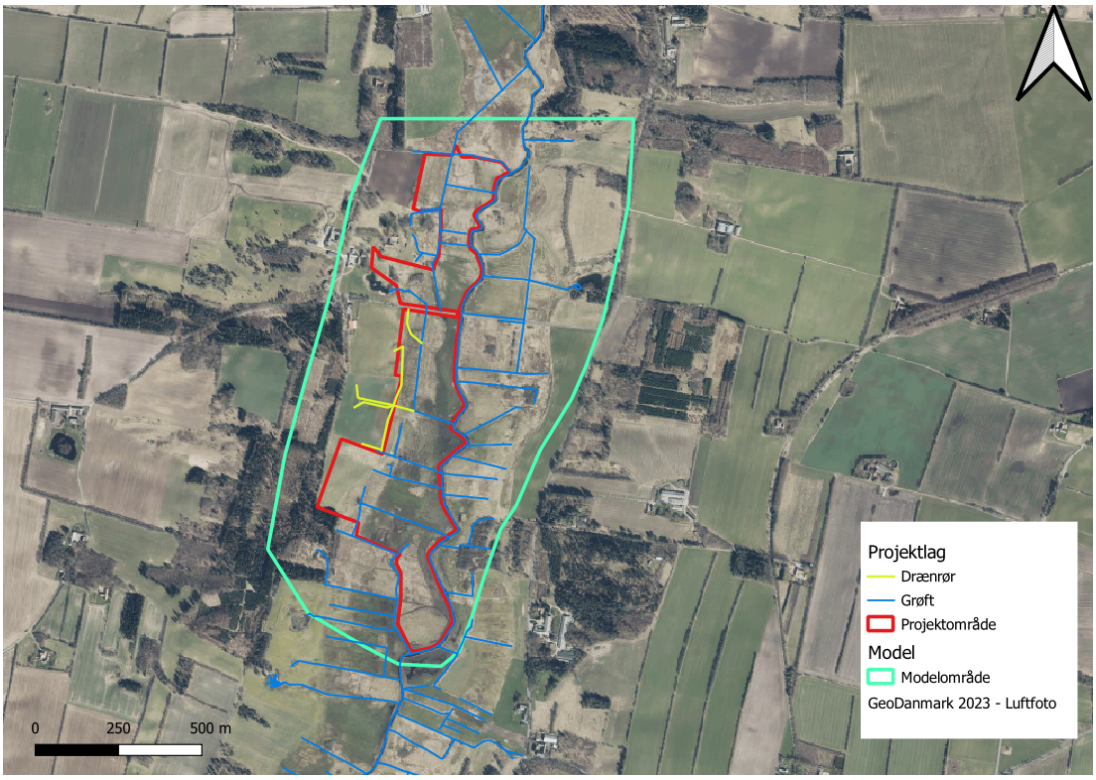
Modellen arbejder med 3 "årstider", der er defineret ved 3 forskellige recharge-rater for grundvandet på baggrund af nedbør. De valgte værdier ses i tabel 3.7.

Årstid	Recharge-rate $[\frac{\mathrm{mm}}{\mathrm{år}}]$
Vinter	400
Middel	200
Sommer	50

Tabel 3.7 Anvendte grundvands-recharge -rater

Modelleringen foregår i celler, hvor der er valgt en størrelse på 10 x 10 m. Cellestørrelse vælges ud fra en afvejning af den ønskede detaljeringsgrad og modelleringshastighed.

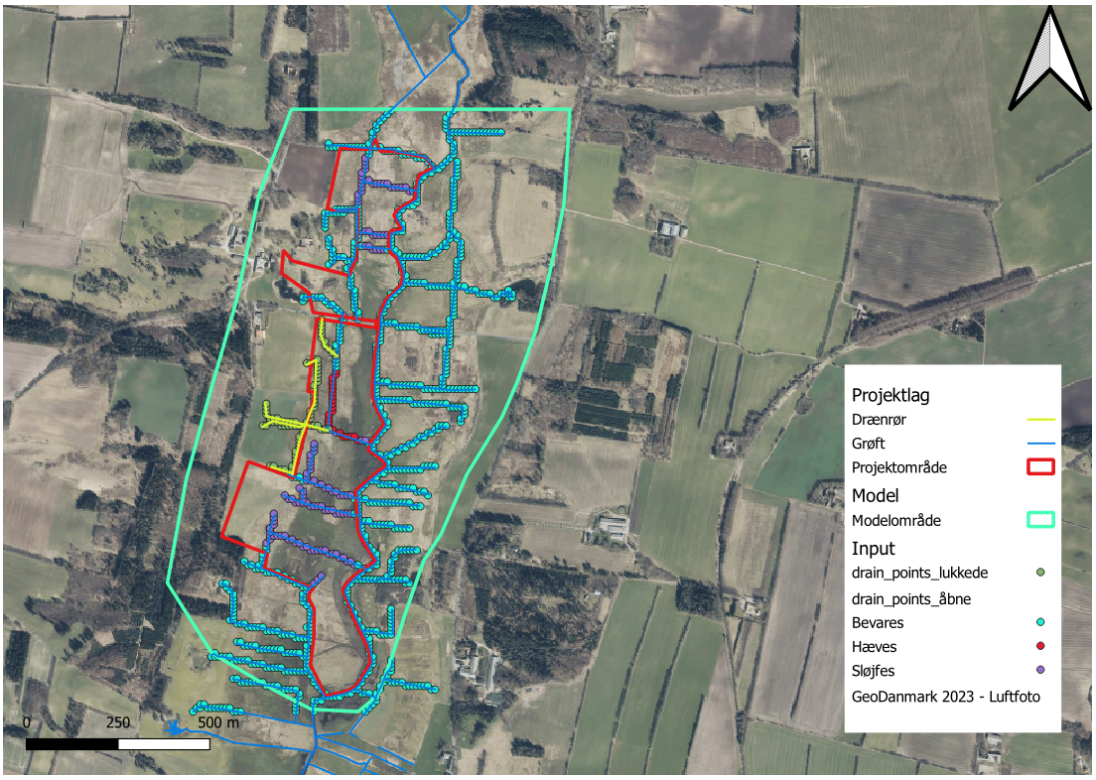
En række input til modellen leveres grafisk, idet FloPy gør det muligt at bruge QGIS til dette. På figur 3.14 ses, hvordan modelområdet er afgrænset, og hvor der er placeret dræn og grøfter.



Figur 3.14 Grafisk input til Modflowmodellen

Bestemmelse af recharge, randbetingelser og hydrauliske ledningsevner sker ved gentagne modelleringer og tilpasninger, for at opnå et realistisk resultat, som svarer nogenlunde overens med data fra området. Det kan for eksempel være pejlinger af grundvandsspejlet i specifikke punkter, som der kalibreres op imod. Der er i modellen defineret en flowrandbetingelse på hele modelområdegrænsen på $5{\cdot}10^{-6}$ $m^3/(s{\cdot}m)$ svarende til 5 $l/(s{\cdot}m)$.

Åbne drængrøfter gives et drænniveau i kote med vandspejlet, mens drænrør defineres til at levere et drænniveau på 1 m under terræn. Punkter med defineret drænniveau, terrænniveau og tiltænkt skæbne ved projektering ses på figur 3.15.

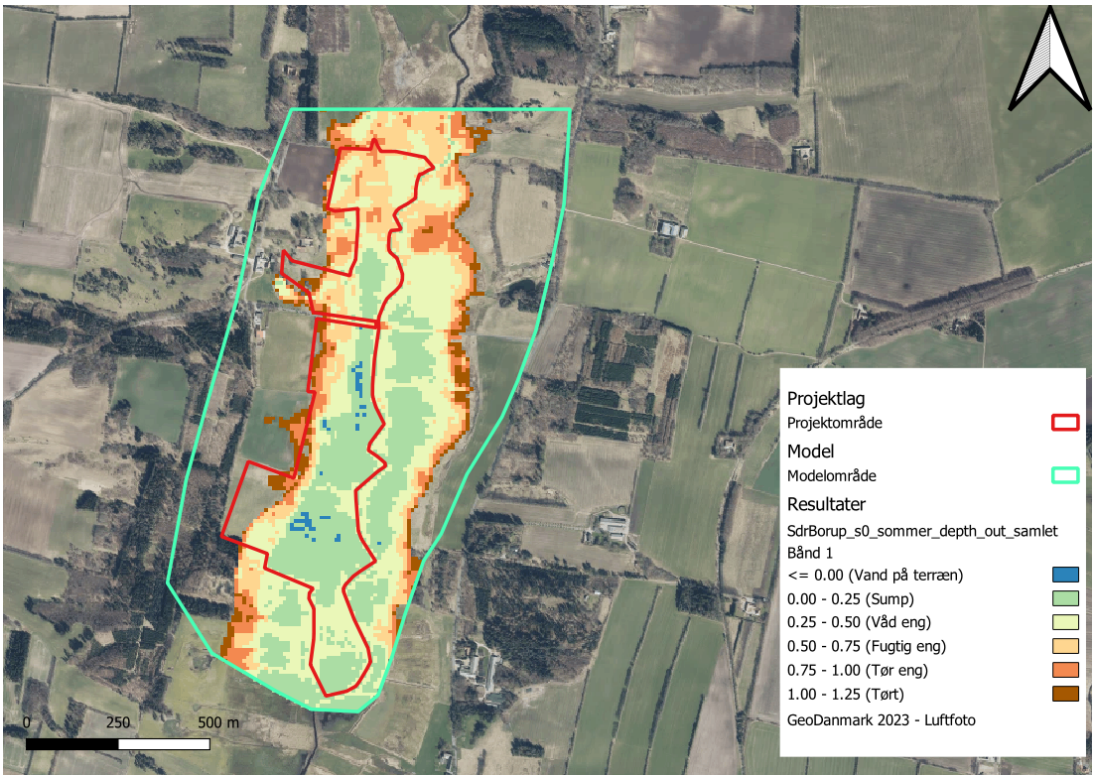


Figur 3.15 Drænniveauer indlagt i Modflowmodellen

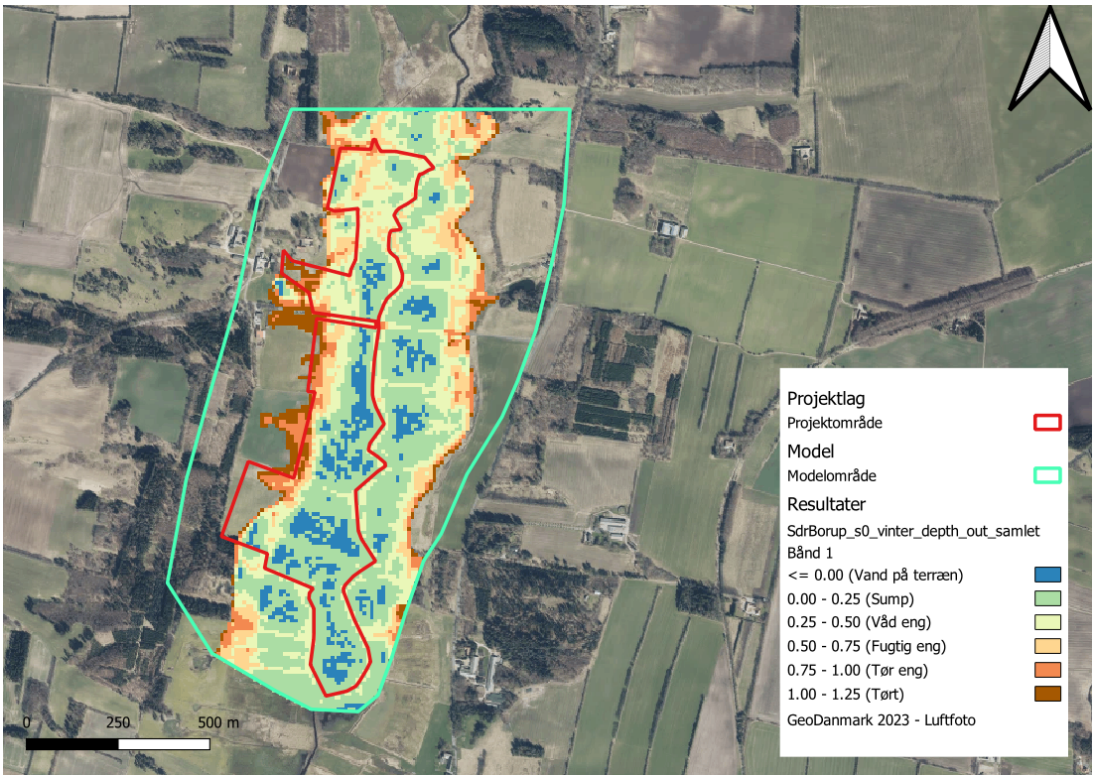
3.4.1 Afvandingskort

De 3 "årstider"er blevet modelleret i 2 tilstande: Nuværende tilstand og efter projekttiltag er gennemført. Herunder præsenteres de resulterende afvandingskort for sommermiddel og vintermiddel.

Nuværende forhold



Figur 3.16 Afvandingskort ved sommermiddel, nuværende tilstand. [m under terræn]



Figur 3.17 Afvandingskort ved vintermiddel, nuværende tilstand. [m under terræn]

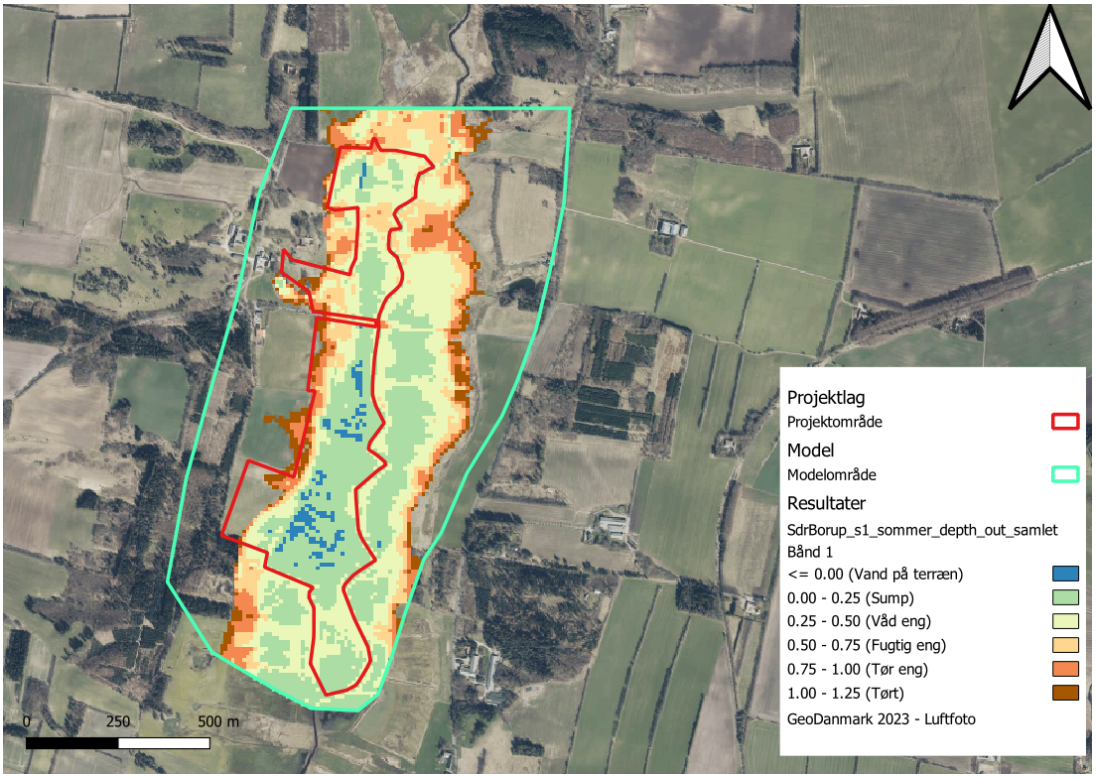
Afvandingsforholdene beskrives ved hjælp af en arealklassifikation, som angiver afstanden fra terræn til grundvandsspejl. Disse er vist i tabel 3.8.

Afvandingsklasse	Sommer-middel [ha]	Vinter-middel [ha]
Tørt/omdrift (100-125 cm til grundvandsspejl)	0,96	0,86
Tør eng (75-100 cm til grundvandsspejl)	1,52	1,38
Fugtig eng (50-75 cm til grundvandsspejl)	4,23	2,21
Våd eng (25-50 cm til grundvandsspejl)	8,63	6,19
Sump (0-25 cm til grundvandsspejl)	11,53	12,66
Frit vandspejl (<0 cm til grundvandsspejl)	0,50	4,66
Samlet areal	29,58	29,58

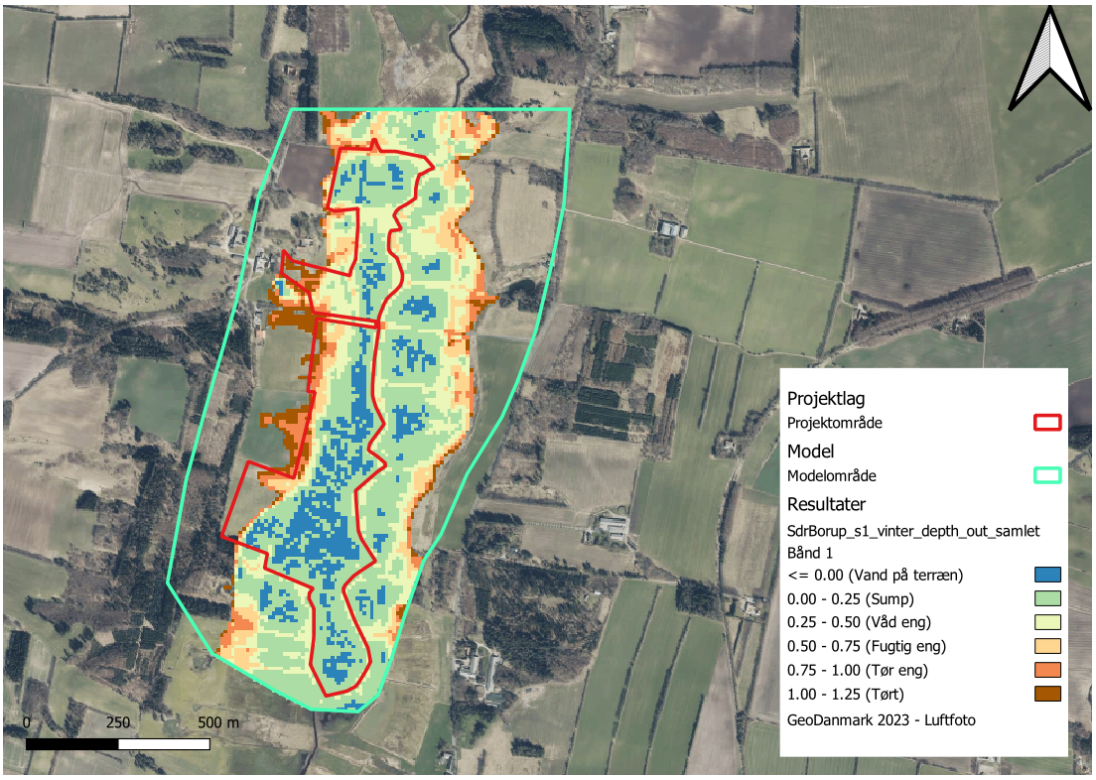
Tabel 3.8 Afvandingsklasser i nuværende situation i følge WatsonC's Modflow-modellering [Artelia, 2024]

Forventeligt er input til modellen kalibreret efter, at de skal danne et afvandingskort, der forekommer realistisk for området, ud fra den modellerendes kendskab til det. Afvandingskort for området efter gennemførelse af projekttiltag kan så dannes ud fra ændrede afvandingsforhold i form af for eksempel fjernede grøfter i modellen.

Efter projekttiltag



Figur 3.18 Afvandingskort ved sommermiddel, efter projekttiltag. [m under terræn]



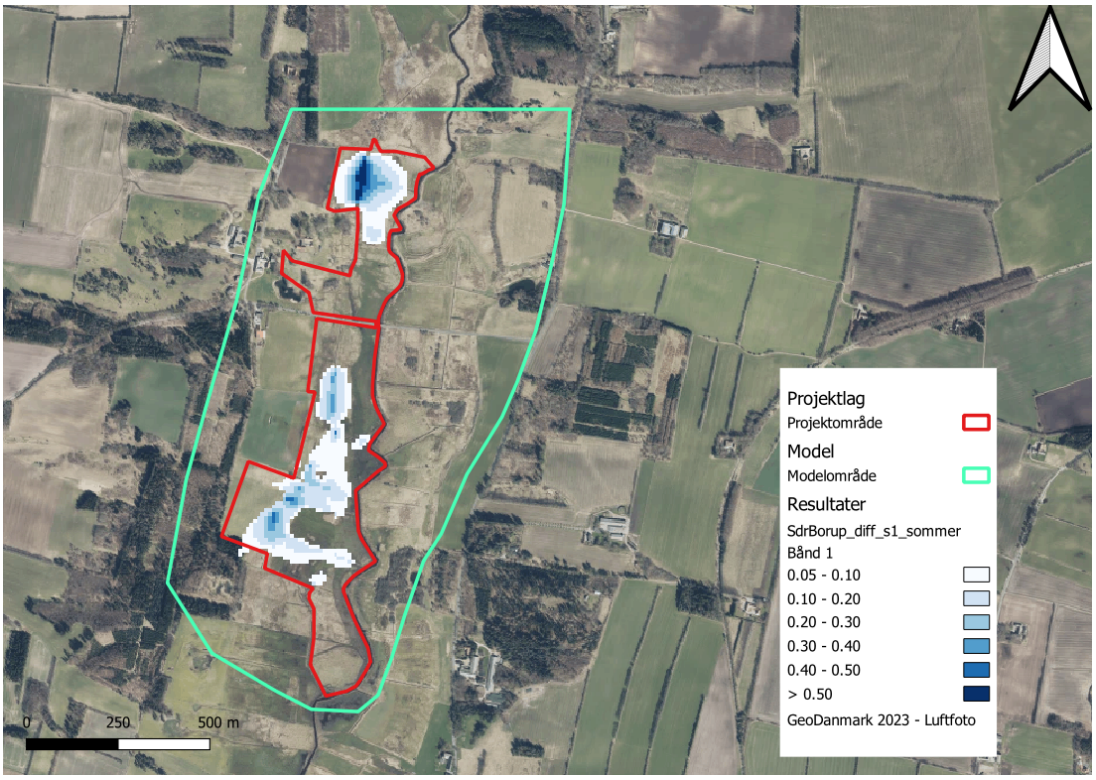
Figur 3.19 Afvandingskort ved vintermiddel, efter projekttiltag. [m under terræn]

WatsonC's modellering giver således de i tabel 3.9 angivne arealer for de forskellige afvandingsklasser, efter projektet fuldføres. Afvandingskortene er særligt vigtige for lodsejers mulighed for at vurdere og planlægge, hvorvidt arealerne kan anvendes til afgræsning eller høslet, fremover.

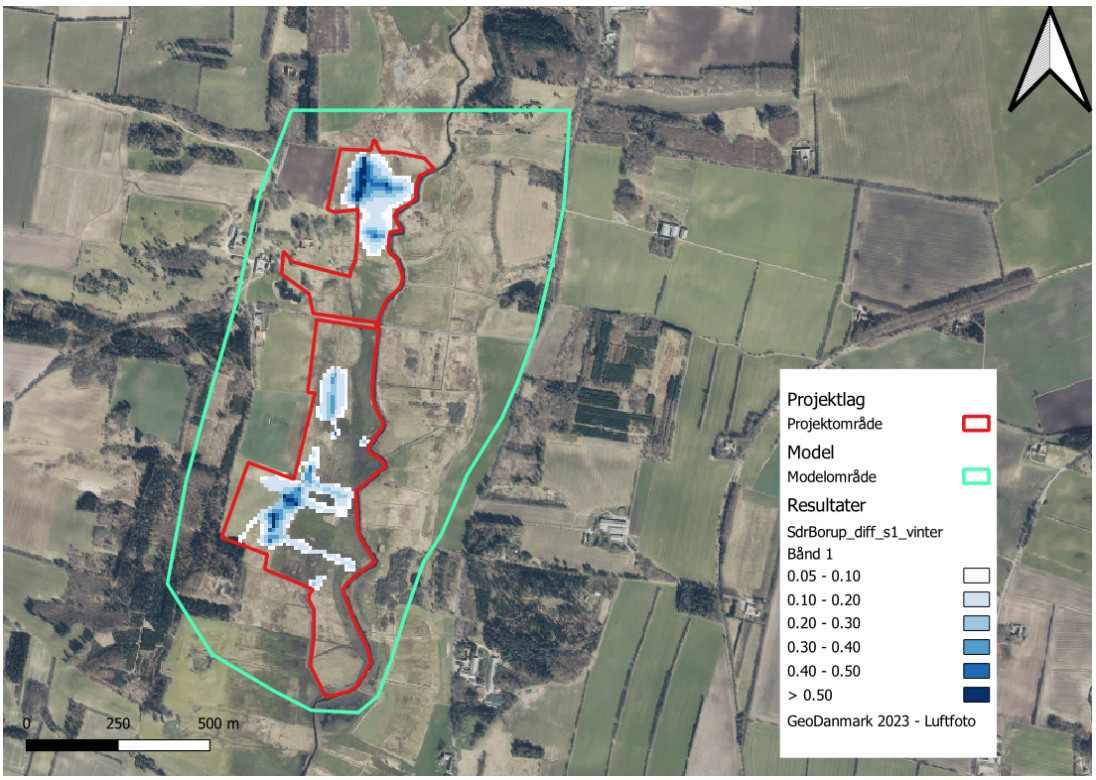
Afvandingsklasse	Sommer-middel [ha]	Vinter-middel [ha]
Tørt/omdrift (100-125 cm til grundvandsspejl)	0,88	0,75
Tør eng (75-100 cm til grundvandsspejl)	1,18	1,10
Fugtig eng (50-75 cm til grundvandsspejl)	2,61	1,39
Våd eng (25-50 cm til grundvandsspejl)	7,98	4,38
Sump (0-25 cm til grundvandsspejl)	13,20	13,24
Frit vandspejl (<0 cm til grundvandsspejl)	1,61	7,13
Samlet areal	29,58	29,58

Tabel 3.9 Afvandingsklasser efter projekttiltag i følge WatsonC's Modflow-modellering [Artelia, 2024]

Forskelle mellem før og efter



Figur 3.20 Forskel på før og efter - sommermiddel.[m]



Figur 3.21 Forskel på før og efter - vintermiddel. [m]

Det ses, at der forventes højere grundvandsstand lige omkring de lukkede grøfter og det stykke af Gnavs Bæk, som får hævet vandløbsbunden. Idet de lavest liggende dele af projektområdet allerede i dag fremstår meget våde, og området er præget af tørvejord, virker dette realistisk. I tabel 3.10 ses den procentvise ændring af arealet for de forskellige afvandingsklasser fra nu-situationen til efter gennemførelse af projekttiltag, ifølge WatsonC's modellering.

Afvandingsklasse	Sommer-middel [%]	Vinter-middel [%]
Tørt/omdrift (100-125 cm til grundvandsspejl)	−8	−13
Tør eng (75-100 cm til grundvandsspejl)	−22	−20
Fugtig eng (50-75 cm til grundvandsspejl)	−39	−37
Våd eng (25-50 cm til grundvandsspejl)	−8	−29
Sump (0-25 cm til grundvandsspejl)	14	5
Frit vandspejl (<0 cm til grundvandsspejl)	222	53

Tabel 3.10 Forskel på afvandingsklasser fra før til efter projekttiltag i følge WatsonC's Modflow-modellering i procent

Det fremgår af tabellen, at arealerne for de to vådeste afvandingsklasser øges på bekostning af de tørrere klasser. Dette stemmer overens med ønsket om at bringe grundvandsstanden helt op omkring terrænniveau, for at bremse udledningen af CO_2 fra kulstofrige jorde.

Kapitel 4

Modellering med VASP og GIS

I det følgende gennemgås modellering af Sønder Borup Klima-lavbundsprojekt ved hjælp af vandspejlsmodellering i Vasp og delvist automatiseret GIS-interpolation, idet Artelias kommende GIS-værktøj fortsat er under udvikling. Processen og et eksempel på modellering gennemgås med forfatterens modellering, som sammenlignes med modelleringen fra WatsonC. Herefter præsenteres en modellering med samme værktøjer udført af Artelia. Til sidst sammenlignes udkommet af alle tre modelleringer, og det beskrives, hvordan de forholder sig til hinanden.

4.1 Nuværende situation

Der tages udgangspunkt i den nuværende situation for projektområdet, hvor der opstilles en VASP-model, der kalibreres op mod vandspejlsmålinger fra målestationen opstrøms for projektområdet. Herefter interpoleres der i GIS, og GIS-værktøjet og eventuelt VASP kalibreres yderligere op mod vandspejlsmålinger i projektområdet.

4.1.1 Vandspejlsberegning i VASP (Sessan)

Det matematiske grundlag for vandspejlsberegninger i VASP, som det fremgår af brugervejledningen [Orbicon WSP, 2020], består af energiliniekoten H defineret som i ligning 4.1.1.

$$H = z + \frac{\alpha \cdot v^2}{2g} \tag{4.1.1}$$

Hvor:

z	Vandspejlskoten
α	hastighedsfordelingskoefficienten (sættes til 1,0)
v	middelhastigheden over tværprofilet
g	tyngdeaccelerationen

Energiliniekoten differentieres i forhold til stationeringen (x). dH/dx er desuden identisk med energiliniegradienten I, hvilket giver differentialligningen for vandspejlet ved en stationær, uensformig strømning, som det ses i ligning 4.1.2.

$$\frac{dz}{dx} = I - \frac{d}{dx}(\frac{\alpha \cdot v^2}{2g}) \tag{4.1.2}$$

Energigradienten findes ved hjælp af Manningformlen i den form som ses i ligning 4.1.3.

$$I = \frac{Q^2}{A^2 \cdot M^2 \cdot R^{4/3}} \tag{4.1.3}$$

Hvor:

I	Energiliniegradienten
Q	Vandføringen
A	Arealet af tværprofilet
M	Manningtallet
R	Hydraulisk- eller modstandsradius (her bruges modstandsradius)

Energiliniekoten adskiller sig fra vandspejls- eller trykkoten ved hastighedshøjden $\frac{v^2}{2g}$, som det fremgår af ligning 4.1.1. Denne afhænger af arealet i det profil, der regnes for, i forhold til det foregående profil, hvilket igen afhænger af vandspejlskoten, som jo er den, der skal findes. VASP bruger en tilnærmelse til at udføre disse beregninger, så der undgås iteration, som typisk er tidskrævende. Beregningerne udføres for hver mm, men resultaterne udtyndes til hver femte mm. VASP regner således hurtigt på vandspejl i forhold til mere komplekse modelleringers kørselstider.

VASP har til vandspejlsberegninger brug for følgende 4 input:

- Vandløbets geometri (indtastede eller -læste vandløbsprofiler kombineret med vandløbets længdeforløb)
- Vandføringen (omregnes til karakteristisk afstrømning)
- Vandspejlskoten i nederste punkt af den beregnede sektion (typisk udløb)
- Manningtallet (som kan være ens eller forskellig for delstrækninger af vandløbet)

Geometri

I forhold til geometrien for Simested Å, er der lavet opmålinger i august 2024 for de nederste ca. 8 km og i 2017/18 for de nederste ca. 32 km af henholdsvis entreprenørvirksomheden Kaj Bech A/S og Orbicon (nu WSP). Her er valgt at bruge en kombination af de to opmålinger, idet opmålingen fra 2024 benyttes for den del af Simested Å, der er opmålt her, og opmålingen fra 2017/18 er brugt for resten af den del af Simested Ås forløb, som der er beregnet på.

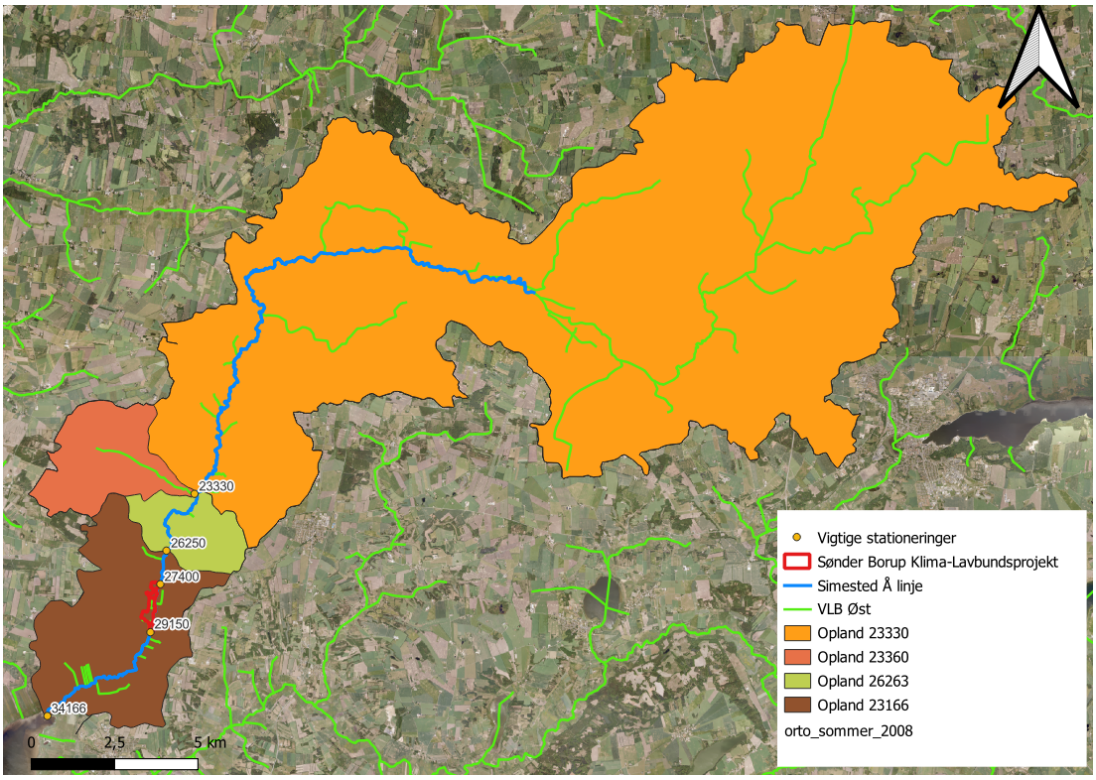
Vandspejlsberegning i VASP bygger på stykkevis beregning af vandspejlet mellem kendte tværprofiler. Ved opmålte vandløb, som Simested Å, antager programmet en jævn overgang fra profil til profil. Det er valgt at regne/modellere på de nederste ca. 11 km af Simested Å, fra stationering 23330. Projektområdet ligger fra stationering 27400 til stationering 29155. Udløbet for åen ligger i stationering 34166.

Der er valgt at modellere fra stationering 23330 for at have en diskretisering lidt opstrøms fra målestationen. I VASP indtastes en række stationeringer med tilhørende oplande, som de er fundet ved hjælp af SCALGO og vandskelkortet fra Arealinformation og der er valgt dem, der ses i tabel 4.1 [SCALGO, 2024] [Arealinformation, 2024].

Stationering	Opland
23330	202,43 km^2
23360	212,39 km^2
26263	218,49 km^2
34166	240,73 km^2

Tabel 4.1 Oplande til VASP

Disse oplande ses på figur 4.1, hvoraf det fremgår, at der er et tilløb af Skinderup Bæk med et større delopland straks efter stationering 23330. Dette er årsagen til, at der angives nyt opland i stationering 23360, hvor næsten 10 km^2 således er kommet til på få meter vandløb. Næste opdeling sker ved målestationen ved Skive-Hobrovej. Resten af Simested Ås forløb ser oplandet ud til at have en meget regelmæssig karakter, hvorfor det behandles som et samlet opland, hvilket VASP vil regne lineært på.



Figur 4.1 Oplande brugt i VASP

Vandføring

Den karakteristiske afstrømning er beregnet ud fra målinger fra målestationen i stationering 26263, som tidligere beskrevet i afsnit 3.2.2. Data indtastet i VASP ses i tabel 4.2.

Størrelse	$\frac{l}{s}$	$\frac{l}{s \cdot km^2}$
Sommermiddel	2088,94	9,57
Vintermiddel	2663,03	12,20
Vinter medianmaksimum	5739,00	26,30
5-års maksimum	7340,80	33,63
10-års maksimum	7815,60	35,81

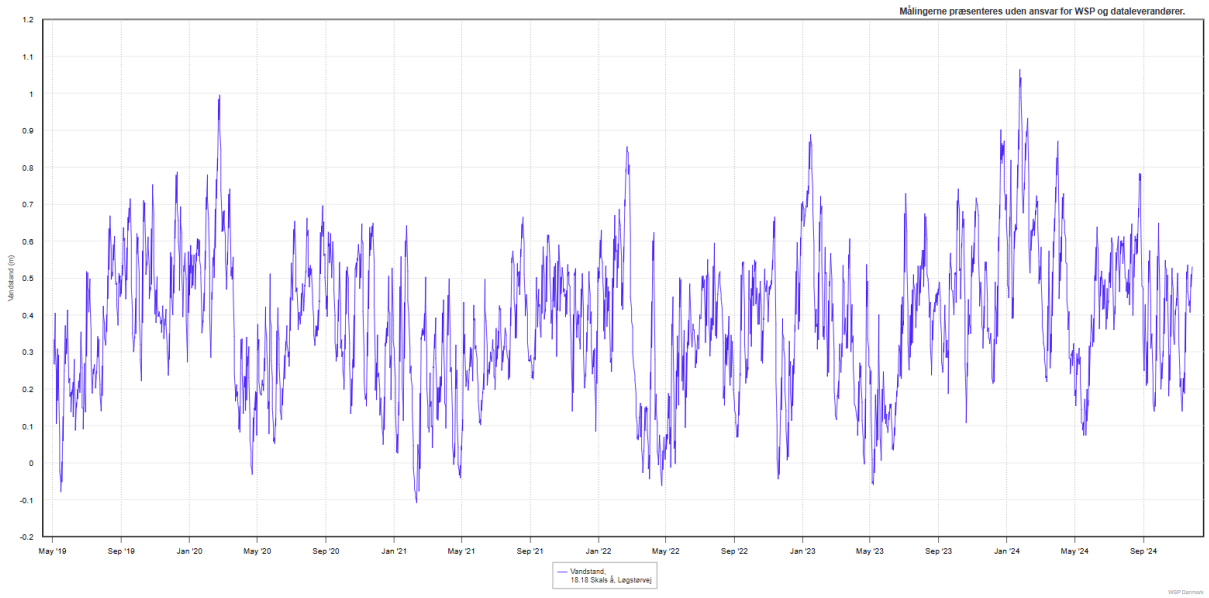
Tabel 4.2 Vandføring og afstrømning for Simested Å, målestation 17.05. [WSP Danmark, 2024]

Randbetingelse - nedstrøms vandspejlskote

Ved beregning af vandspejlet mellem tværprofiler tager VASP udgangspunkt i vandspejlskoten for det nedstrøms profil. Den endelige randbetingelse for den samlede vandstandsberegning for en vandløbsstrækning bliver således vandstandskoten for den profil som befinder sig nærmest eller ved udløbet.

Simested Å udløber, som tidligere beskrevet, i Hjarbæk Fjord, som udløber gennem en dæmning til Lovns Bredning, som igen udløber i den vestlige del af Limfjorden. Idet den dominerende vestenvind blæser saltvand ind i Limfjorden ved Thyborøn, og Limfjorden desuden modtager ferskvand fra store områder, der alt sammen ved den vanlige vestenvind skal løbe gennem den smalle østlige del af Limfjorden for at løbe ud i Kattegat, er hele Limfjordssystemet udsat for udsving i vandstanden. Stærke vinde kan således forårsage opstuvning eller vandstandsfald i de mange krinkelkroge i fjordsystemet.

For at finde en forholdsvis realistisk udløbskote for Simested Å, ses der nærmere på data for vandstande fra målestationen 18.18 Skals Å, Løgstørvej, idet Skals Å udløber tæt ved Simested Å og målestationen ligger ca. 2 km fra udløbet, mens målestationen på Simested Å ligger ca. 8 km fra udløb. Skals Å har et opland, der er 3 gange større end Simested Å, ådalen nær udløbet er bred og flad, og der er søer i forbindelse med den nederste del af åens forløb. Det antages derfor, at faldet på denne del af Skals Å er minimalt. Graf over dataudtræk fra målestationen ses på figur 4.2



Figur 4.2 Døgnmiddel for målt vandstand, målestation 18.18 Skals Å [WSP Danmark, 2024]

Som det fremgår af grafen, er vandspejlet i målepunktet kun sjældent i nærheden af kote 0 og kan svinge helt op til i nærheden af kote 1. Et hurtigt visuelt overblik giver fornemmelsen af et vandspejl typisk i nærheden af kote 0,3-0,4. I tabel 4.3 ses resultaterne af statistisk behandling af data fra målestationen. Behandlingen fremgår af digitalt bilag angivet i Bilag A.

Størrelse	DVR90
Sommermiddel	0,346
Vintermiddel	0,378
Vinter medianmaksimum	0,644

Tabel 4.3 Vandstand for Skals Å, Løgstørvej, målestation 18.18. Se Bilag A [WSP Danmark, 2024]

Det vælges på denne baggrund at bruge vandspejlskoter vist i tabel i VASP-beregningerne.

Størrelse	DVR90
Sommermiddel	0,3
Vintermiddel	0,4
Vinter medianmaksimum	0,6

Tabel 4.4 Anvendt nedstrøms vandspejlskote i VASP

Der kan argumenteres for at afprøve højere vandstande ved ekstremhændelser som 5- og 10års-maksimum, men da der kun foreligger data fra under 5 år, kan 5- og 10års-maksima ikke beregnes herudfra. Det er afprøvet at bruge en vandspejlskote på 0 m for sommer- og vintermiddel, hvilket giver en negligibel forskel på henholdsvis 8 og 9 mm ved nedstrøms ende af projektområdet.

Manningtal

Manningtallet angiver den inverse modstand i vandløbet. Et lavt manningtal angiver større modstand og lavere vandhastighed, mens et højt manningtal angiver lav modstand og højere vandhastighed. Manningtallet afhænger således stærkt af åens karakter på en given strækning, hvor større vandløb og mindre grøde giver større manningtal og større vandhastighed.

Simested Å er, fra omkring jernbanebroen ved stationering 9645 til stationering 27730, lidt opstrøms for Sønder Borup Bro, fredet og henligger i naturtilstand. Mens der er krav til teoretisk skikkelse og vandføringsevne udenfor denne strækning, er der ingen sådanne krav her, og den eneste vedligeholdelse består i grødeskæring, mens vandløbet forøvrigt har lov til selv at udvikle sig [Viborg og Nordjyllands Amter, 2001].

Nedstrøms for stationering 27730 er der igen krav til vandløbets teoretiske skikkelse. Denne strækning påvirkes af stuvning fra Hjarbæk Fjord [Viborg og Nordjyllands Amter, 2001]. Idet en del af den beregnede strækning henligger som naturvandløb, og en del ikke gør, anvendes der to forskellige manningtal ved hver vandspejlsberegning: et for naturvandløbet og et for resten. Placeringen af stationering 27730 og dermed skillelinjen mellem naturvandløbet og det almindeligt regulerede vandløb fremgår af figur 4.3.

Figur 4.3 Placering af stationering 27730 og skillelinie mellem brug af opstrøms- og nedstrøms manningtal

Valg af Manningtal for den øverste strækning informeres af erfaringen samt kalibrering op mod vandstandsmålinger for Novana målestation 17.05 ved Skive-Hobrovej stationering 26251. Vandstandsmålingerne er behandlet statistisk i vedlagt Excel-fil, som fremgår af Bilag A, hvilket har givet de relevante vandstande, som fremgår af tabel 4.5.

Størrelse	DVR90 [m]
Sommermiddel	2,894
Vintermiddel	2,874
Vinter medianmaksimum	3,136

Tabel 4.5 Vandstand for Simested Å, målestation 17.05. [WSP Danmark, 2024]

Som det fremgår af tabellen, fås det lidt kontraintuitive resultat, at vintermiddelvandstanden er lavere end sommermiddelvandstanden, på trods af den noget større vandføring, som angivet i tabel 4.2. Den nødvendige forklaring herpå er, at der om vinteren er mindre grødevækst og dermed højere manningtal. Idet behandlingen af rådata viser, at der mange år er højere sommermiddelvandstand end vintermiddelvandstand, er resultaterne brugt, som de er anført herover.

Ved hjælp af gentagne vandspejlsberegninger i VASP med de ovenfor beskrevne parametre for henholdsvis sommermiddel, vintermiddel og vintermedianmaksimum er følgende manningtal for Simested Å opstrøms for stationering 27730 fundet - se tabel 4.6.

Størrelse	Manningtal $[\frac{m^{1/3}}{s}]$
Sommermiddel	10
Vintermiddel	13
Vinter medianmaksimum	17

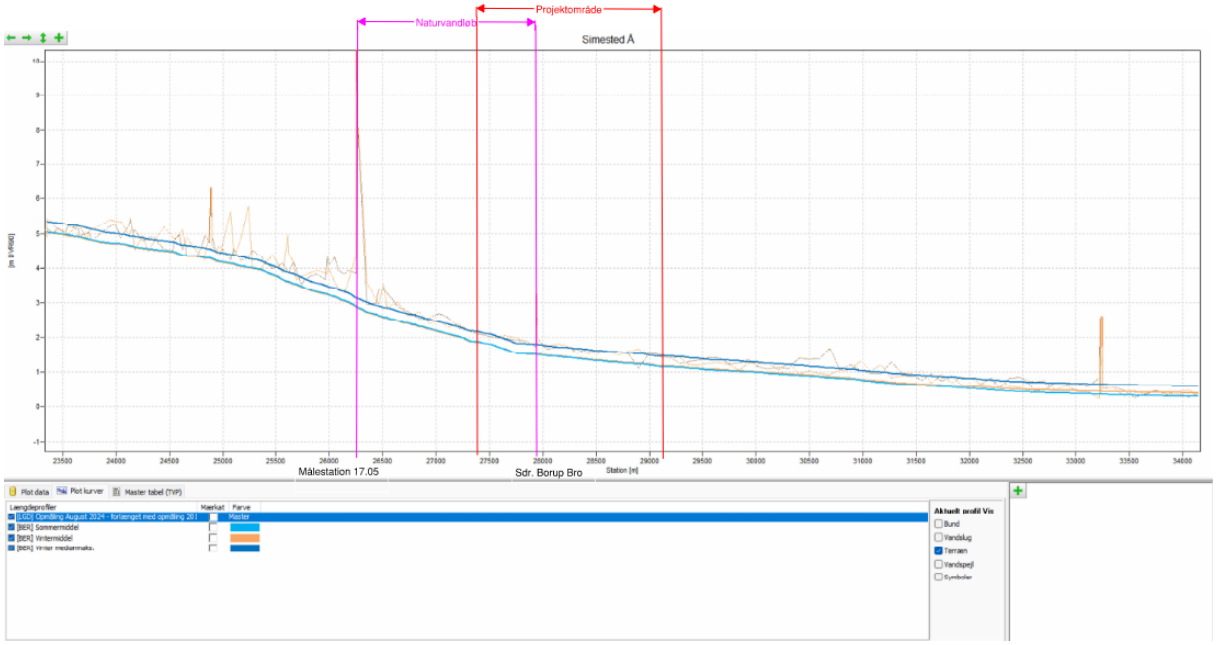
Tabel 4.6 Manningtal for Simested Å opstrøms for stationering 27730

Nedstrøms for stationering 27730 er manningtallet for vintermedianmaksimum kalibreret op mod, at vandspejlet skal flugte nogenlunde med terrænet, da erfaring viser, at det typisk er omkring vintermedianmaksimum, at der ses oversvømmelser til terræn. Dette viste sig at passe fornuftigt med et tal, som er nogenlunde dobbelt så stort som det opstrøms manningtal. Dette princip er overført til sommer- og vintermiddel.

Størrelse	Manningtal $[\frac{m^{1/3}}{s}]$
Sommermiddel	20
Vintermiddel	25
Vinter medianmaksimum	35

Tabel 4.7 Manningtal for Simested Å nedstrøms for stationering 27730

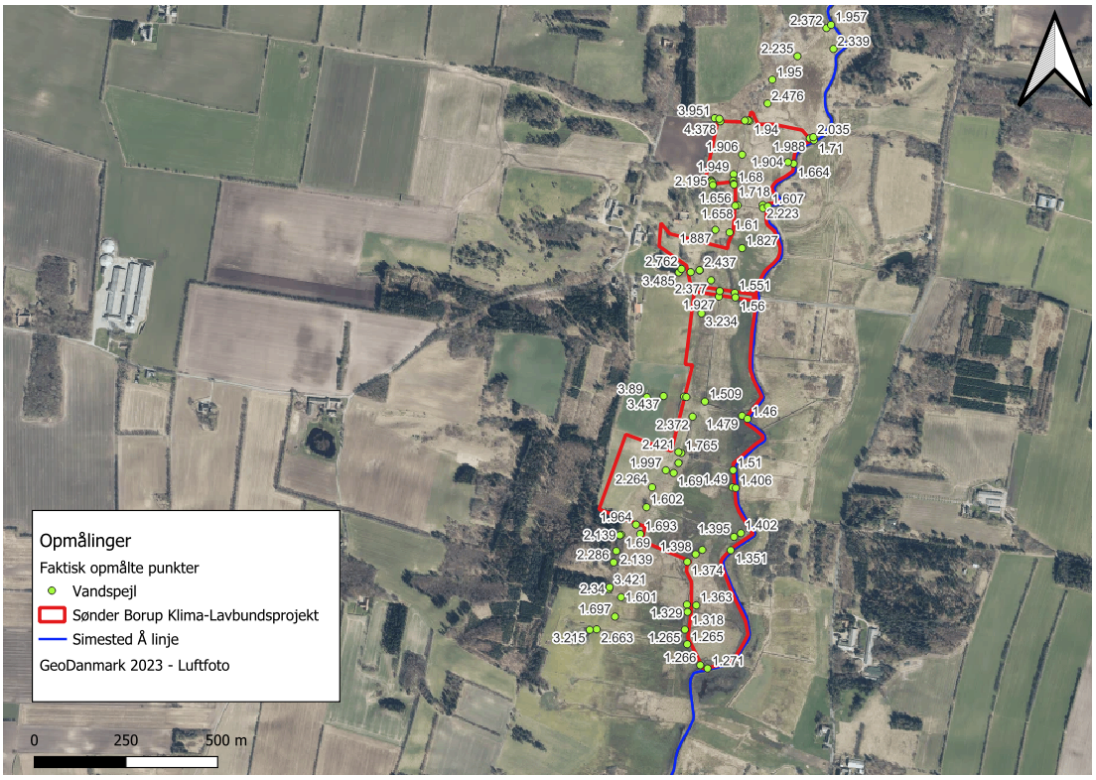
Et plot af de beregnede vandspejl sammen med terræn på begge sider af åen ses på figur 4.4.



Figur 4.4 Plot over beregnede vandstande ud fra præsenterede værdier

Det viste plot vedlægges desuden som PDF - se Bilag A.

Efterfølgende sammenholdtes vandspejlsberegningerne med måledata fra en dag i november, hvor der var blevet målt blandt andet vandspejlskoter i projektområdet - inklusive et antal i Simested Å. Kort over opmålte vandspejl er vist på figur 4.5



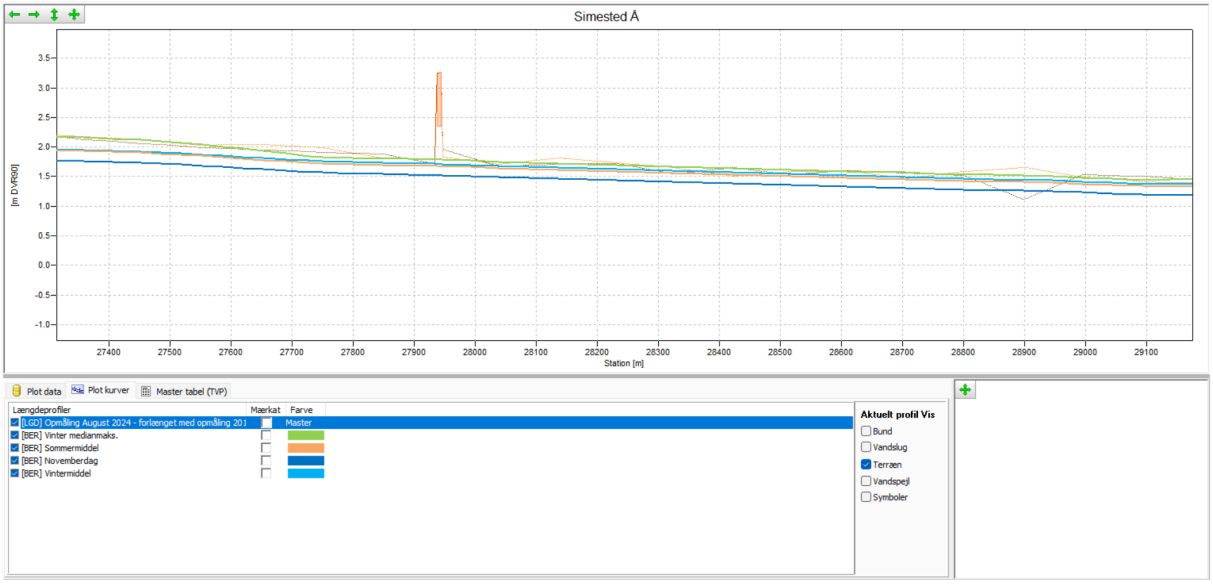
Figur 4.5 Kort over målte vandspejl november 2024

Vandspejl i projektområdet måles til at starte ved kote 1,71 og slutte i kote 1,27 hvor modelleringen med de ovenfor præsenterede manningtal i en vintermiddel-situation starter over kote 1,9 og slutter under kote 1,2. Det konstateres, at døgnmiddelvandstanden for målestation 17.05 det pågældende døgn var nærmere kote 2,77 end vintermidlen på 2,87. Derfor laves en ny modellering for det pågældende døgn, hvor afstrømningen tilpasses, indtil den rigtige kote ved målestation 17.05 tilnærmelsesvist nås. Herefter tilpasses manningtallet nedstrøms for stationering 27730, til det rette fald gennem projektområdet kan rammes i rimeligt omfang. Nedstrøms manningtal for sommermiddel tilrettes, så det står i nogenlunde samme forhold til det opstrøms manningtal. Nye nedstrøms manningtal ses i tabel 4.8.

Størrelse	Manningtal $[\frac{m^{1/3}}{s}]$
Sommermiddel	15
Vintermiddel	18
Vinter medianmaksimum	35

Tabel 4.8 Manningtal for Simested Å nedstrøms for stationering 27730

Manningtallet for vintermedianmaksimum fastholdes, da det er kalibreret i forhold til terrænkanter på vandløbet. Plot af nye beregnede vandspejl indenfor projektområdet ses på figur 4.6.

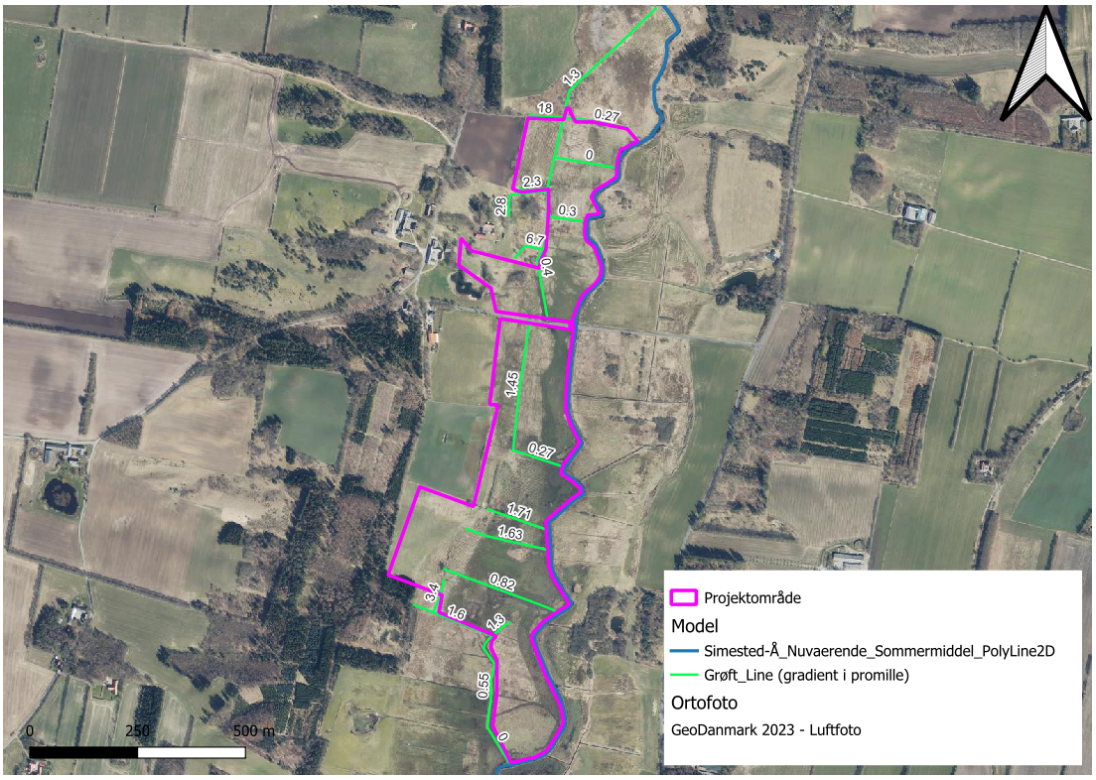


Figur 4.6 Plot over nye beregnede vandstande i projektområdet

4.1.2 Afvandingskort ud fra automatiseret GIS-interpolation (Sessan)

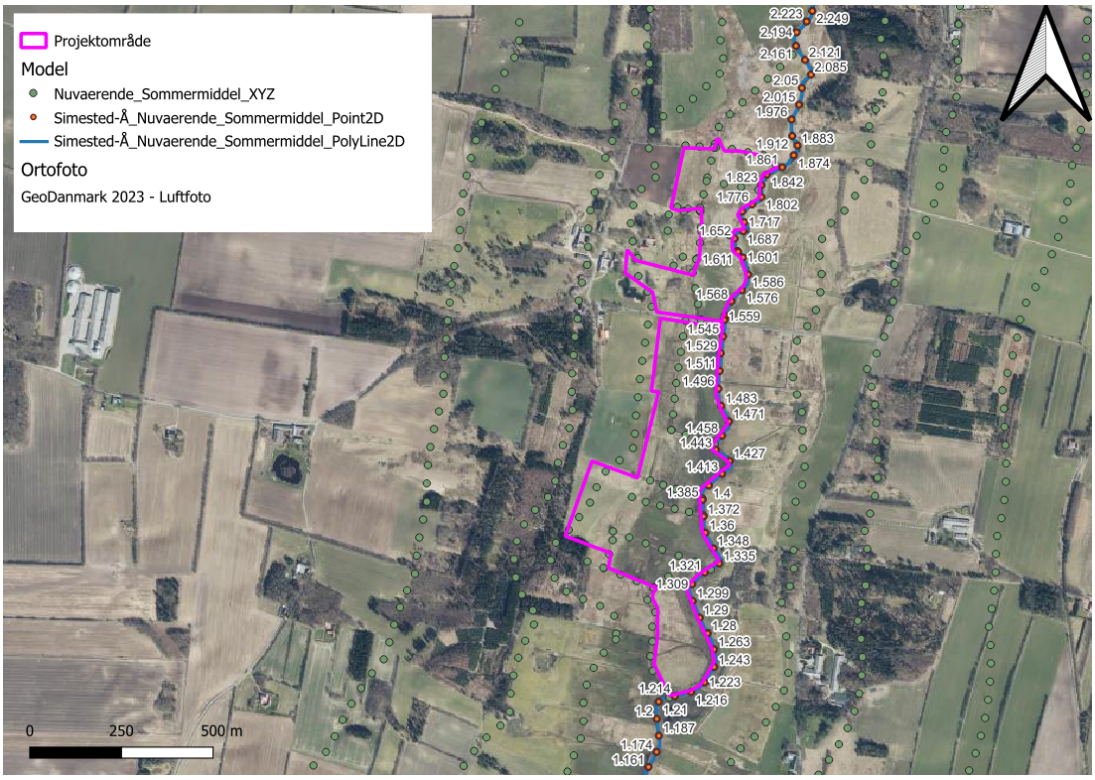
I Artelia Aalborg pågår et arbejde med delvis automatisering af processen med at foretage afvandingsanalyser ved hjælp af GIS. Dette foregår ved hjælp af Python og SAGA-GIS. I Python programmeres en automatisering af at udskyde vandløbsvandspejl beregnet i VASP op gennem tilknyttede afvandingsgrøfter og ud i terrænet. Ved hjælp af SAGA-GIS lægges et gradientgrid oveni, som giver en specifik energilinjegradient ud gennem den flade ådal, og en anden i det tilstødende landskab. Disse gradienter baseres delvist på erfaringstal, delvist på hvad der ser ud til at give mening i det specifikke landskab.

I første omgang arbejdes der uden gradientgrid. Input til værktøjet er en vandløbsvandspejlsberegning eksporteret fra VASP og et GIS-lag med linjer, der angiver afvandingsgrøfter i projektområdet. Ud fra vandspejlsopmålinger i felten angives gradienter på afvandingsgrøfternes vandspejl. Værktøjet skyder så vandspejl fra Simested Å op i de indlagte afvandingsgrøfter, med de angivne gradienter. Herefter skydes vandspejlene fra å og grøfter vinkelret ud i landskabet. Forskel på vandspejl og terrænoverflade beregnes og farvelægges ud fra de tidligere præsenterede afvandingsklasser. Indtegnede grøfter og gradienter ses på figur 4.7.



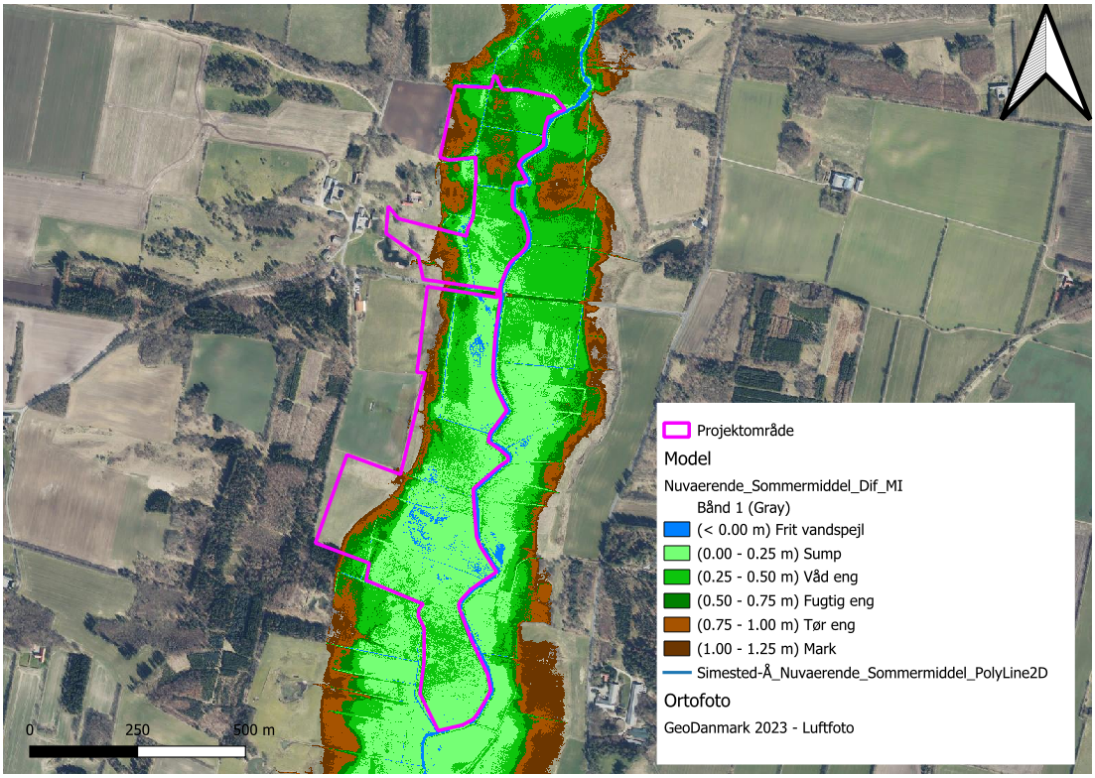
Figur 4.7 Input-linjer med gradienter til GIS-værktøj

Vandspejl beregnes i et antal punkter, skudt henholdsvis 200, 400 og 750 m vinkelret ud i terrænet fra åløbet, foruden i de indlagte grøfter. Beregningspunkter udenfor grøfterne tager værdi fra det nærmeste punkt i grøft eller vandløb. Da åen slynger sig, har det været nødvendigt at gå beregningspunkterne igennem og tage stilling til, hvilke der skulle bibeholdes, når der kom rod i rækkefølgen. Værktøjet er således sat op til dette specifikke projekt på nuværende tidspunkt. Der tilstræbes yderligere automatisering i fremtiden. Beregningspunkter og beregnet vandspejl for nuværende sommermiddel fremgår af figur 4.8.

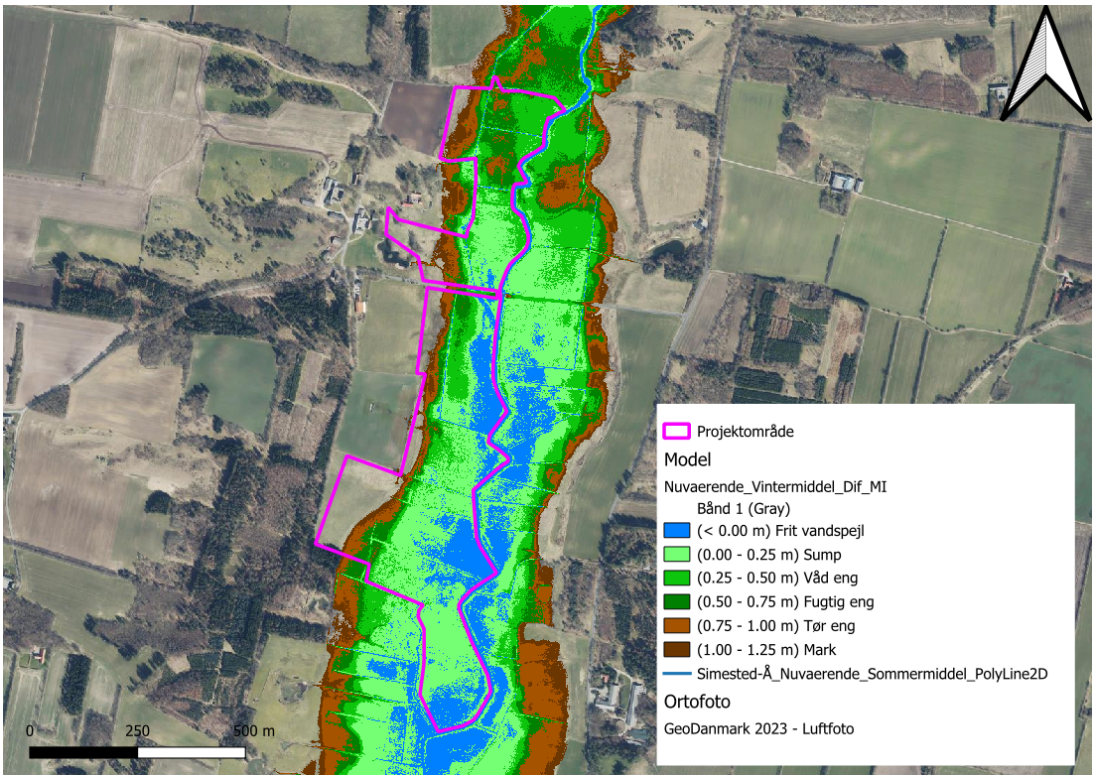


Figur 4.8 Beregningspunkter i GIS-værktøj samt beregnet vandspejl fra VASP for nuværende sommermiddel

Mellem beregningspunkterne interpoleres lineært, og resultaterne formidles i de tidligere præsenterede afvandingsklasser, som det fremgår af afvandingskortene på figur 4.9 og 4.10. Der dannes raster med en opløsning på 0,4 m x 0,4 m.



Figur 4.9 Afvandingskort nuværende sommermiddel ved hjælp af GIS-værktøj. [m under terræn]



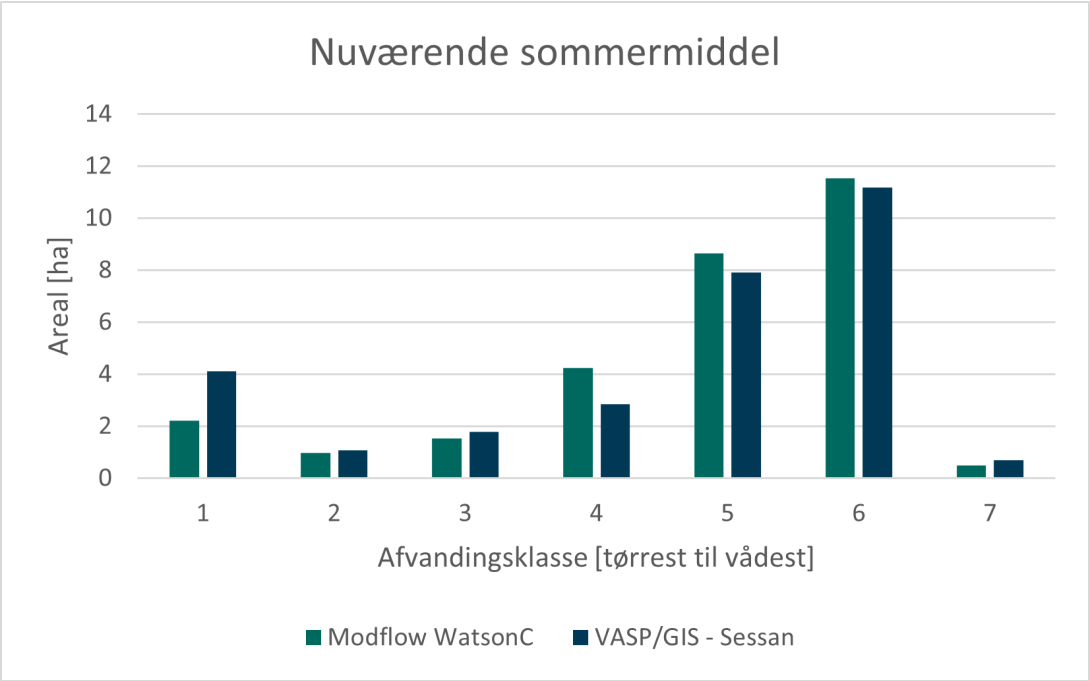
Figur 4.10 Afvandingskort nuværende vintermiddel ved hjælp af GIS-værktøj. [m under terræn]

Afvandingsklasse	Sommer-middel [ha]	Vinter-middel [ha]
1: Udenfor klasse (>125 cm til grundvandsspejl)	4,12	4,65
2: Tørt/omdrift (100-125 cm til grundvandsspejl)	1,06	1,22
3: Tør eng (75-100 cm til grundvandsspejl)	1,77	1,81
4: Fugtig eng (50-75 cm til grundvandsspejl)	2,84	2,68
5: Våd eng (25-50 cm til grundvandsspejl)	7,92	4,56
6: Sump (0-25 cm til grundvandsspejl)	11,18	10,19
7: Frit vandspejl (<0 cm til grundvandsspejl)	0,69	4,47
Samlet areal	29,58	29,58

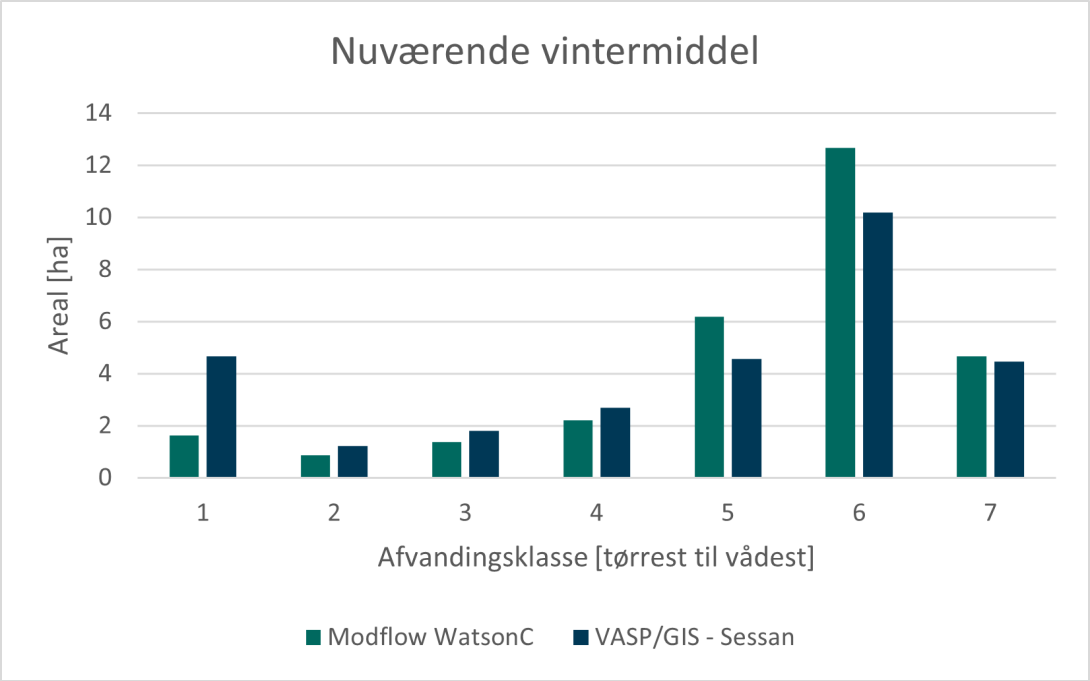
Tabel 4.9 Afvandingsklasser i nuværende situation i følge ovenstående modellering i VASP og GIS

4.1.3 Forskel mellem WatsonC's og Sessans modelleringer

Afvandingskortene fra WatsonC's Modflowmodellering og Sessans produceret ved hjælp af VASP/GIS-værktøj ligner umiddelbart hinanden. På figurerne 4.11 og 4.12 vises arealerne for afvandingsklasserne i de to modelleringer for nuværende sommer- og vintermiddel. Forskelsberegningerne er vedlagt som digitalt bilag - se Bilag A.



Figur 4.11 Arealer for afvandingsklasserne i de to modelleringer - sommermiddel



Figur 4.12 Arealer for afvandingsklasserne i de to modelleringer - vintermiddel

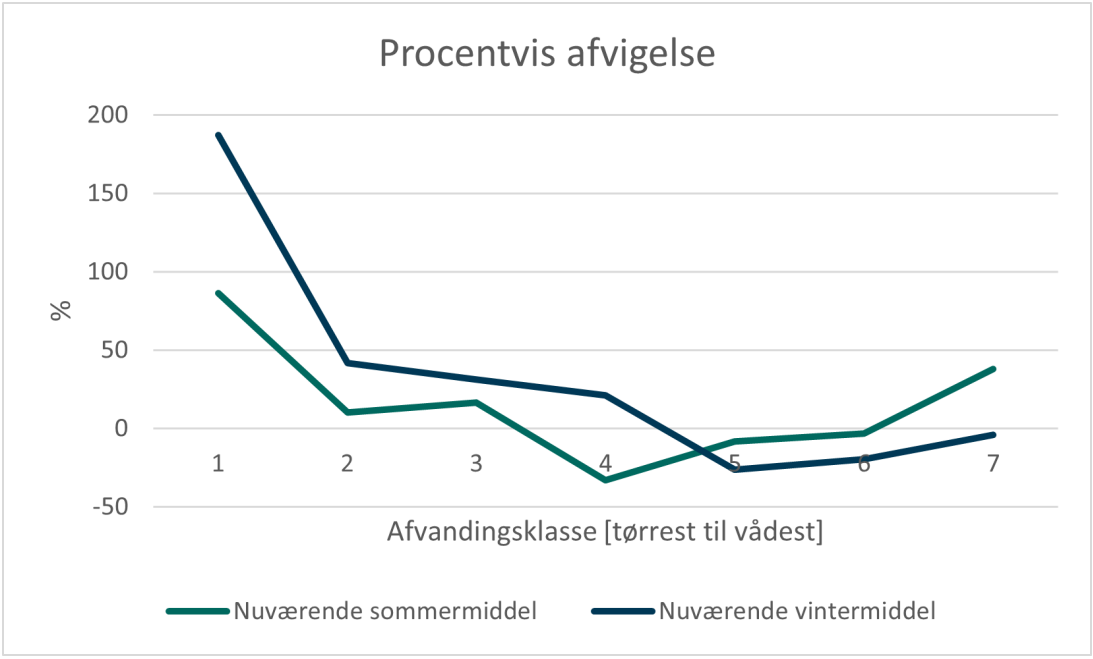
I tabel 4.10 ses forskellen i hektar på de forskellige afvandingsklasser. Den procentvise forskel fremgår af tabel 4.11 og figur 4.13.

Afvandingsklasse	Sommer-middel [ha]	Vinter-middel [ha]
1: Udenfor klasse (>125 cm til grundvandspejl)	1,91	3,03
2: Tørt/omdrift (100-125 cm til grundvandsspejl)	0,10	0,36
3: Tør eng (75-100 cm til grundvandsspejl)	0,25	0,43
4: Fugtig eng (50-75 cm til grundvandsspejl)	−1,39	0,47
5: Våd eng (25-50 cm til grundvandsspejl)	−0,71	−1,63
6: Sump (0-25 cm til grundvandsspejl)	−0,35	−2,47
7: Frit vandspejl (<0 cm til grundvandsspejl)	0,19	−0,19

Tabel 4.10 Forskel på areal i afvandingsklasserne fra WatsonC's Modflowmodellering til Sessans med VASP/GIS-værktøj

Afvandingsklasse	Sommer-middel [%]	Vinter-middel [%]
1: Udenfor klasse (>125 cm til grundvandspejl)	86	187
2: Tørt/omdrift (100-125 cm til grundvandsspejl)	10	42
3: Tør eng (75-100 cm til grundvandsspejl)	16	31
4: Fugtig eng (50-75 cm til grundvandsspejl)	−33	21
5: Våd eng (25-50 cm til grundvandsspejl)	−8	−26
6: Sump (0-25 cm til grundvandsspejl)	−3	−20
7: Frit vandspejl (<0 cm til grundvandsspejl)	38	−4

Tabel 4.11 Procentvis forskel på areal i afvandingsklasserne fra WatsonC's Modflowmodellering til Sessans med VASP/GIS-værktøj



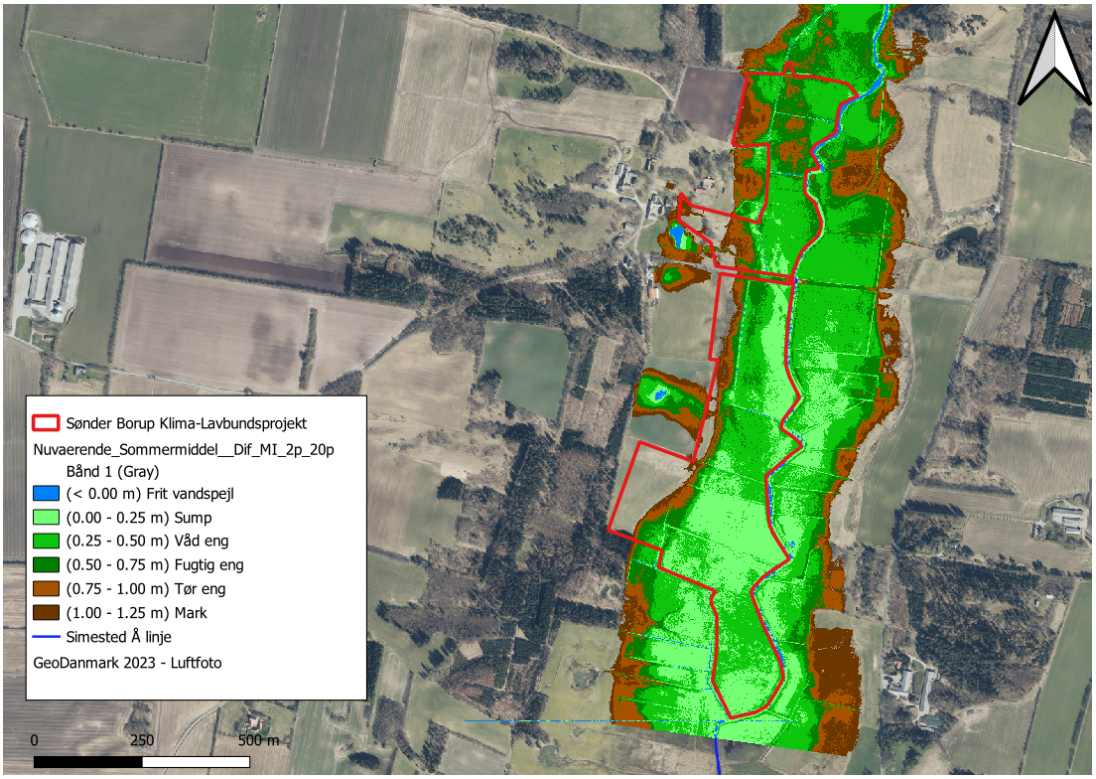
Figur 4.13 Procentvis forskel på areal i afvandingsklasserne fra WatsonC's Modflowmodellering til Sessans med VASP/GIS-værktøj

Som det fremgår af tabeller og grafer, er Sessans modellering i VASP/GIS lidt tørrere end WatsonC's Modflow-modellering. Det kan blandt andet skyldes, at der i Sessans VASP/GIS-modellering ikke er indlagt gradientgrid. Overordnet fremstår afvandingskort fra begge modelleringer noget vådere, end man umiddelbart kunne forvente på drænede arealer, og hvad man kan se på ortofotos. Dog er der ved felt-

arbejde konstateret ganske våde forhold. Blandt andet er der observeret gifttyde på arealerne, der tit gror så vådt, at der ikke er stor risiko for, at græssende dyr æder den. Dette tyder således på temmelig våde forhold – også om sommeren.

4.1.4 Modellering i VASP/GIS-værktøj ved erfaren modelør (Artelia)

Sideløbende med udviklingen af førnævnte GIS-værktøj, er der blevet modelleret vandløbsvandspejl i VASP og udarbejdet afvandingskort ved hjælp af GIS-værktøjet af en medarbejder i Artelia, der har 2 års erfaring med modellering af klima-lavbundsprojekter. For nuværende foreligger der et færdigt afvandingskort over nuværende sommermiddel, som kan ses på figur 4.14. Her er gradientgriddet inkorporeret, hvilket kan ses på de våde lavninger lige vest for projektområdet.



Figur 4.14 Nuværende sommermiddel - modellering i VASP/GIS-værktøj, Artelia. [m under terræn]

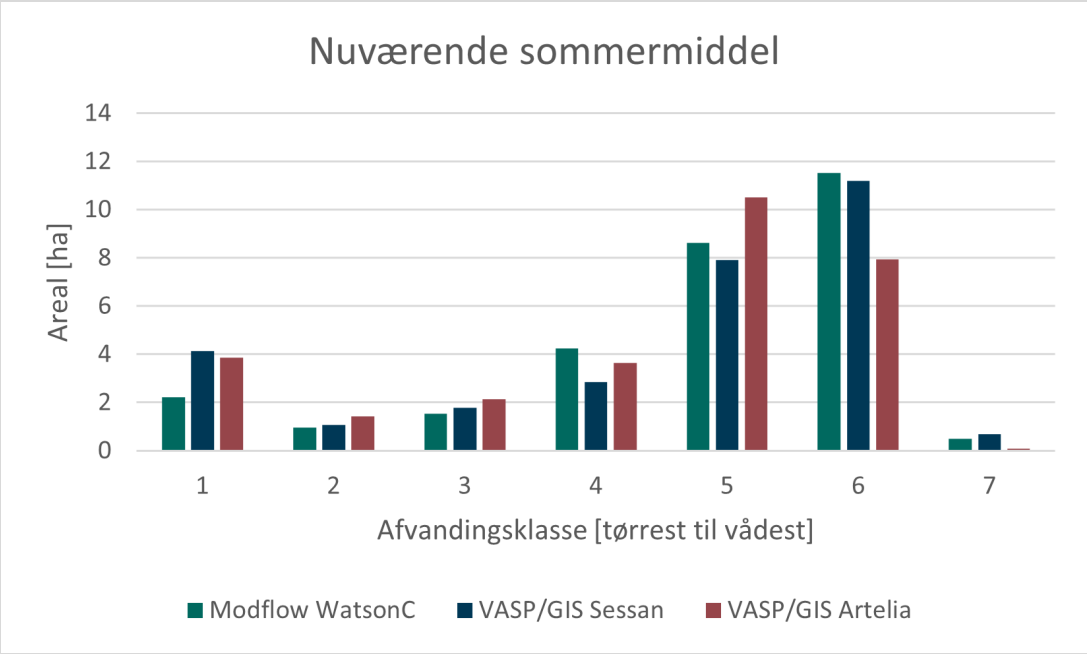
De resulterende afvandingsklasser fremgår af tabel 4.12.

Afvandingsklasse	Sommer-middel [ha]
1: Udenfor klasse (>125 cm til grundvandsspejl)	3,86
2: Tørt/omdrift (100-125 cm til grundvandsspejl)	1,42
3: Tør eng (75-100 cm til grundvandsspejl)	2,13
4: Fugtig eng (50-75 cm til grundvandsspejl)	3,63
5: Våd eng (25-50 cm til grundvandsspejl)	10,52
6: Sump (0-25 cm til grundvandsspejl)	7,93
7: Frit vandspejl (<0 cm til grundvandsspejl)	0,09
Samlet areal	29,58

Tabel 4.12 Afvandingsklasser i nuværende situation, VASP/GIS-værktøj, Artelia

Forskelle mellem de tre modelleringer for nuværende sommermiddel

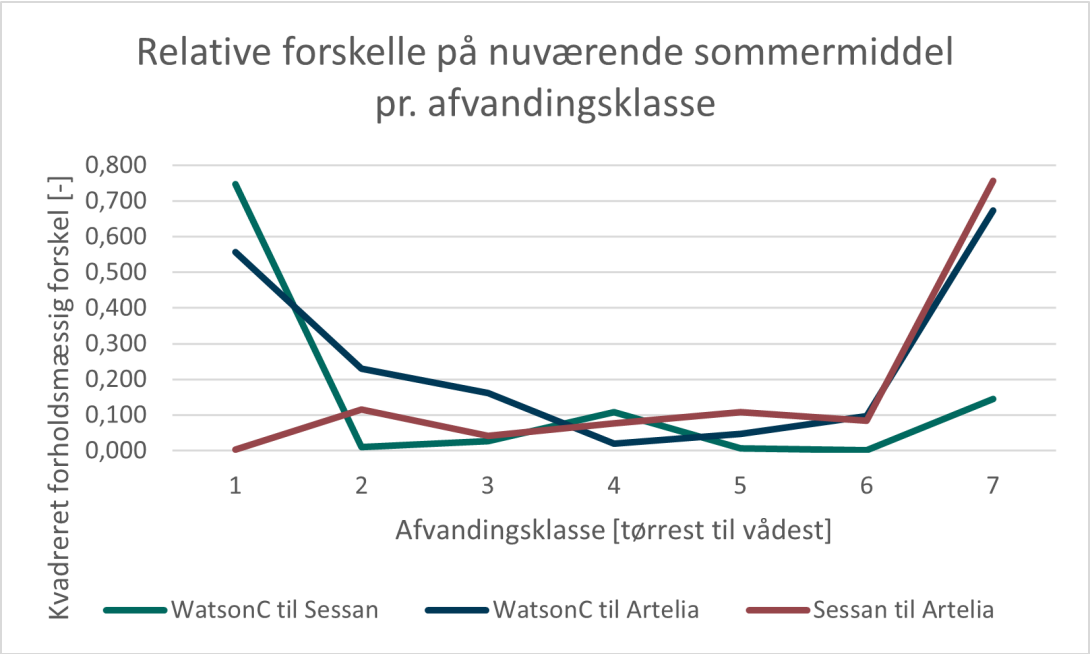
En grafisk fremstilling af arealer for afvandingsklasserne ved de tre forskellige modelleringer ses på figur 4.15. Beregningerne er vedlagt som digitalt bilag - se Bilag A.



Figur 4.15 Arealer for afvandingsklasserne i de 3 modelleringer - nuværende sommermiddel

Artelias modellering fremstår som den klart tørreste af de tre, med betragteligt mindre arealer i de 2 vådeste afvandingsklasser og markant større areal i afvandingsklasse 5:Våd eng. Artelias modellering giver dermed indtryk af et område, som vil være betragteligt bedre egnet til afgræsning i sommermånederne end de 2 andre modelleringer.

For at få et bedre indblik i størrelsen på den relative afvigelse mellem de tre modelleringer, er den numeriske størrelse bragt i fokus ved kvadrering af forskellen og vist grafisk på figur 4.16.



Figur 4.16 Kvadrerede relative forskelle mellem de 3 modelleringer - nuværende sommermiddel

Den afbildede størrelse er fremkommet som vist i ligning 4.1.4.

$$\text{WatsonC til Sessan} = \left(\frac{\text{Sessan[ha]} - \text{WatsonC[ha]}}{\text{WatsonC[ha]}}\right)^2 \tag{4.1.4}$$

Som det fremgår, ses de største relative forskelle i henholdsvis tørreste og vådeste afvandingsklasse. Den summerede kvadrerede relative forskel, som giver et indtryk af, hvor meget modelleringerne samlet afviger fra hinanden, ses i tabel 4.13.

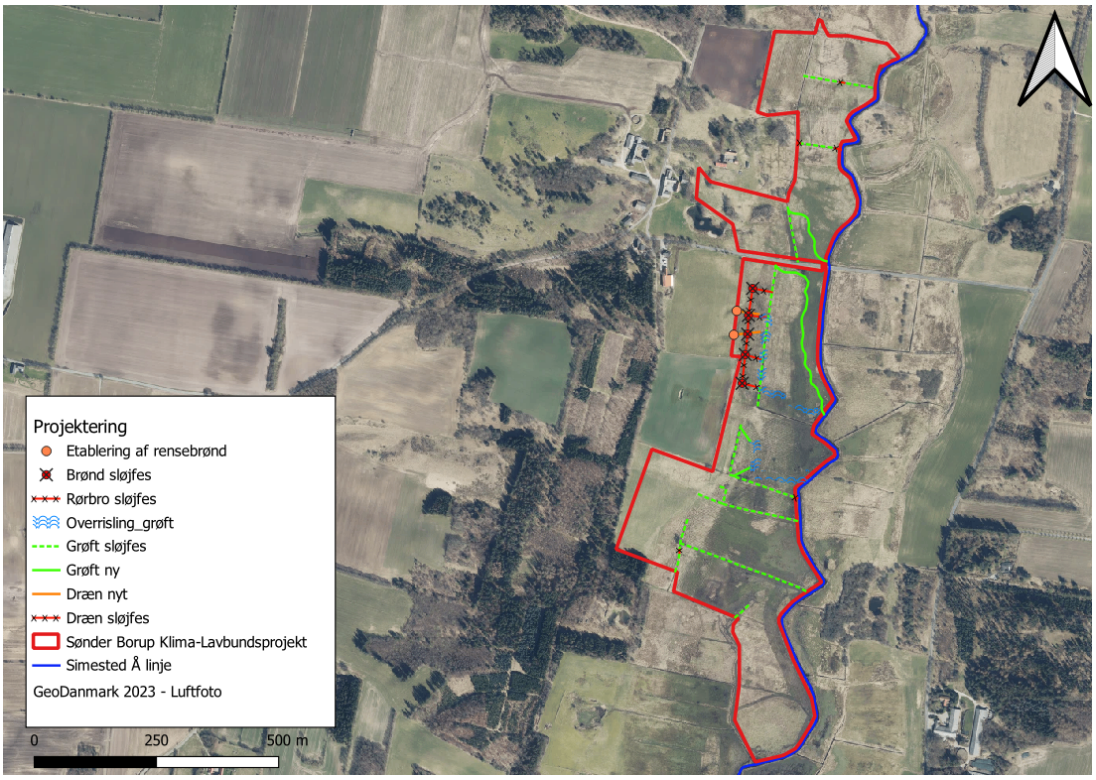
WatsonC til Sessan	WatsonC til Artelia	Sessan til Artelia
1,045	1,786	1,186

Tabel 4.13 Vandbalance for projektområdet

Det ses, at den største samlede relative forskel er mellem Artelias og WatsonC's modelleringer, som er foregået med forskellige værktøjer. Det er dog interessant at se, at forskellen mellem den uerfarne modellør (Sessan) og den erfarne (Artelia) med samme redskaber er større end forskellen mellem Sessans modellering i VASP/GIS-værktøj og WatsonC's Modflow-modellering.

4.2 Projektforslag 2: Fra projekteringsfasen

Idet der under projekteringsfasen har vist sig at være udfordringer med det projektforslag, der fremkom i forundersøgelsen, og der på nuværende tidspunkt endnu ikke er opnået nok automatisering af Artelias GIS-værktøj til, at det kan bruges af andre end udvikleren, bliver her præsenteret det projektforslag, som der arbejdes videre med efter projekteringen, og som der udføres GIS-modellering på som udgangspunkt. Tiltagene ses på figur 4.17.



Figur 4.17 Projektforslag efter projektering

Det er ikke lykkedes at nå at få afvandingskort for efter-tilstand med i rapporten, men de beregninger af effekter på udledning, som det er muligt at foretage ud fra de her givne oplysninger, er medtaget.

4.2.1 Delkonklusion

Idet der i høj grad kalibreres op mod feltobservationer og tilpasses på baggrund af erfaring, ser det ud til, at vandspejlsberegninger og afvandingskort afhænger stærkere af modelørens erfaringer og indtryk end af, hvilken metode der bruges.

På grund af forsinkelse i udviklingen af GIS-værktøjet og udarbejdelse af øvrige afvandingskort, har det desværre ikke været muligt at præsentere flere resultater ved aflevering af dette projekt.

Kapitel 5

Stofberegninger

Der foretages beregninger af effekten på udledninger af klimagas, kvælstof og fosfor som følge af projekttiltagene. Der henvises fra Miljøstyrelsens side til excel-ark og vejledninger hertil, som skal anvendes til beregningerne [Styrelsen for Grøn Arealomlægning og Vandmiljø, 2024*a*]. Dette sandsynliggør, at beregningerne bliver udført på krævet og ensartet vis. I det følgende gennemgås input og resultater for de forskellige beregninger.

5.1 Klimagasudledninger

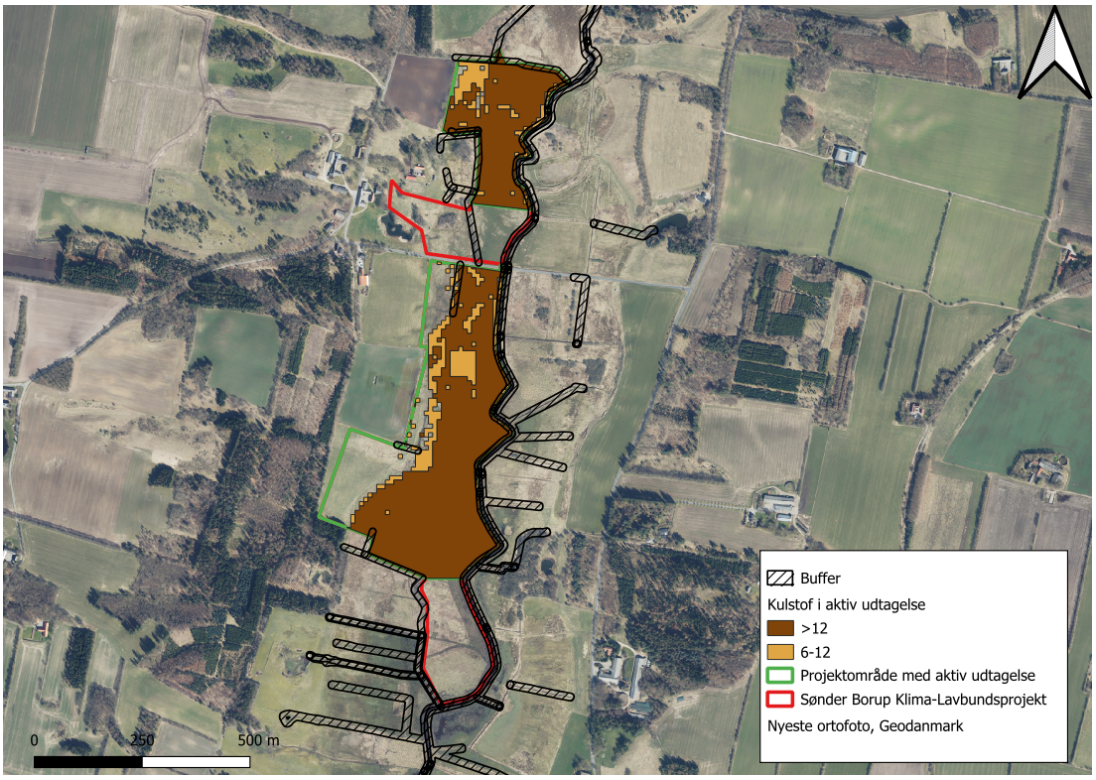
Regnearket for klimagasudledninger tager udgangspunkt i de del-arealer, hvor der bliver gjort projekttiltag, der genskaber mere naturlig hydrologi − det vil sige, hvor der er aktiv udtagning af jord fra tidligere brug. Del-arealer, hvor der ikke sker tiltag, registreres i regnearket som passivt udtagne arealer.

Grundlaget for regnearket er en metode, som tager udgangspunkt i, hvor store arealer med henholdsvis under 6 %, mellem 6 og 12 % og over 12 % kulstof, der får gendannet naturlig hydrologi, og hvilken anvendelse jorden har haft hidtil. Arealer med mere end 12 % kulstof, der hidtil har været under omdrift, vil bidrage med den største klimagaseffekt per hektar. Arealer, der ligger indenfor en 7,5 meters bufferzone fra drænende foranstaltninger som grøfter, funktionelle dræn eller vandløb, regnes med, med halv effekt. Metoden skal afspejle den praktiske erfaring, at grundvandsspejlet i gendannede lavbundsområder typisk ses i eller meget tæt på terrænniveau, undtagen i randzoner omkring drænende foranstaltninger. [AU, GEUS og MST, 2023]

Da der ikke anvendes afvandingskort eller andre modellerede størrelser i regnearket, vil resultaterne for samme projekttiltag altid være ens, uanset hvilke værktøjer der anvendes til modellering af afvandingskort.

5.1.1 Projektforslag 1: Fra forundersøgelsen

Som tidligere nævnt er beregningerne af klimagaseffekten udelukkende afhængige af, hvilke områder der udtages aktivt - det vil sige, der udføres projektforslag i - samt hvilke bufferområder langs drænende foranstaltninger, der er til stede i området, sammenholdt med kulstofindhold. På figur 5.1 ses et GIS-kort over de relevante input.



Figur 5.1 Anvendte input til klimagasberegning

Relevante arealer ses i tabel 5.1.

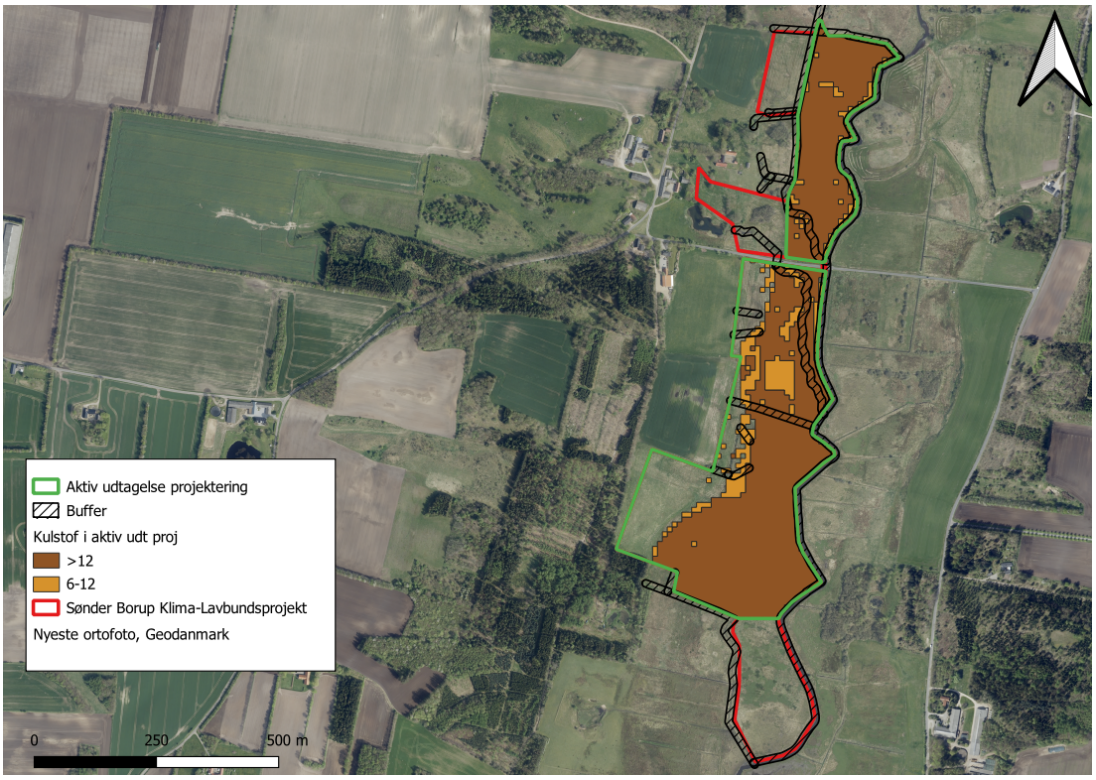
Inden/uden for buffer	Kulstofindhold	Areal
Udenfor buffer	$> 12\%$	14,83 ha
Udenfor buffer	$6 - 12\%$	2,62 ha
Udenfor buffer	$< 6\%$	4,00 ha
Indenfor buffer	$> 12\%$	0,98 ha
Indenfor buffer	$6 - 12\%$	0,29 ha
Indenfor buffer	$< 6\%$	0,18 ha

Tabel 5.1 Arealer i aktiv udtagelse til klimagasberegning

Dette giver en samlet klimagasreduktion på 417,6 ton CO_2e, ifølge regnearket som er vedlagt som digitalt appendix. Dette svarer til 14,1 ton CO_2e/ha. Se appendix A.

5.1.2 Projektforslag 2: Fra projekteringen

Da der er lidt forskel på, hvilke områder der arbejdes i, i de to projektforslag, giver det lidt forskellige arealer i aktivt udtag og dermed forskelle i klimagasberegningerne. Bufferarealer, arealer med aktiv udtagelse og kulstof 2022-kortlægning i samme, ses på figur 5.2.



Figur 5.2 Anvendte input til klimagasberegning

De anvendte arealer ses i tabel 5.2

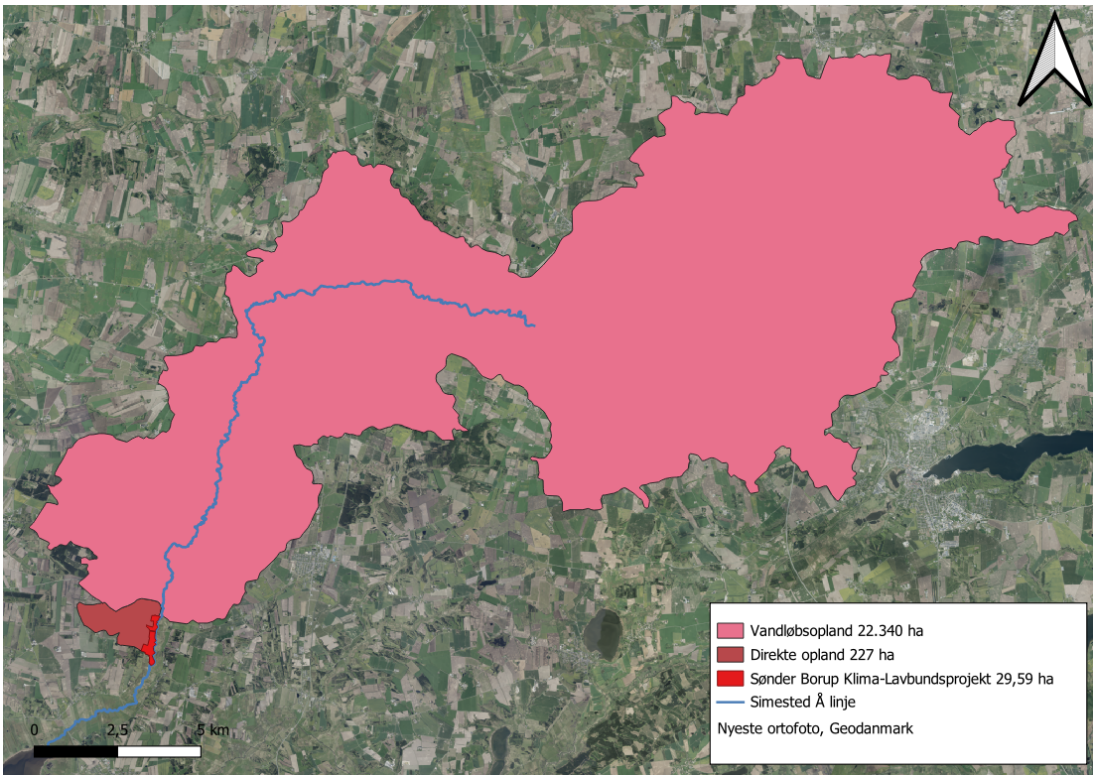
Inden/uden for buffer	Kulstofindhold	Areal
Udenfor buffer	$> 12\%$	14,59 ha
Udenfor buffer	$6 - 12\%$	2,01 ha
Udenfor buffer	$< 6\%$	4,04 ha
Indenfor buffer	$> 12\%$	1,78 ha
Indenfor buffer	$6 - 12\%$	0,51 ha
Indenfor buffer	$< 6\%$	0,33 ha

Tabel 5.2 Arealer i aktiv udtagelse til klimagasberegning

Dette giver en samlet klimagaseffekt på 415,3 ton CO_2e, ifølge vedlagte regneark, som kan findes i appendiks A, hvilket svarer til en effekt på 14,0 ton CO_2e/ha.

5.2 Kvælstof

Effekt på kvælstofudledningen som følge af gennemførelsen af klima-lavbundsprojektet beregnes ved hjælp af et excelark udarbejdet af Miljøstyrelsen og opdateret i 2023 [Miljøstyrelsen, 2023] sammen med Naturstyrelsens vejledning fra 2014 [Naturstyrelsen, 2014]. Her beregnes tilført kvælstof fra vandløbsoplandet, det direkte opland og projektområdet foruden øget kvælstofomsætning ved oversvømmelse med vand fra vandløbsoplandet, overrisling/nedsivning af vand fra det direkte opland og ekstensivering af landbrugsdriften i projektområdet på baggrund af projekttiltag. Vandløbsopland, direkte opland og projektområde med deres arealer ses på figur 5.3.



Figur 5.3 Anvendte oplande til kvælstof- og fosforberegninger

Alene kvælstoffjernelse med vand fra vandløbsoplandet afhænger af modellerede data. I dette projekt udføres der ikke ændringer på Simested Å, og man kan derfor umiddelbart ikke argumentere for at anvende denne kategori. Der planlægges godt nok med ændringer af Gnavs Bæk, som kan give øget oversvømmelsesareal i forhold til nu, men på meget begrænset areal. Dette vil heller ikke være med vand fra vandløbsoplandet, men i stedet fra det direkte opland. Det forekommer derfor at være mere korrekt at regne det med under overrisling/nedsivning fra det direkte opland.

Tilførselsdelen af regnearket er områdespecifik og har ingen sammenhæng med projekttiltag. Den vil derfor være ens for alle scenarier for det samme projektområde. Tilførslen af kvælstof til projektområdet fra vandløbsoplandet udregnes automatisk ud fra hvilke DMI-grids vandløbsoplandet befinder sig i, hvilket definerer nedbør, andel af sandjord og andel af opdyrket jord, sammen med det samlede areal af vandløbsoplandet. Det samme gør sig gældende for det direkte opland. For selve projektområdet skal det vurderes, hvor høj kvælstofudvaskningen er per år. Som erfaringstal er angivet 5-10 kg N/år for vedvarende græs. I mangel på oplysninger, der kan kvalificere størrelsen, vælges 7,5 kg N/år.

Størrelsen af vandløbsoplandet opstrøms for projektområdet findes ved hjælp af SCALGO og vandskelsdatabasen til 22.340 ha og er beliggende i DMI-grids 10189, 10216, 10244 og 10245. Det direkte opland findes til 227 ha beliggende i DMI-grid 10189. [Scharling, 1999]

Tilførsel af kvælstof til Simested Å gennem projektområdet opgøres i regnearket til de størrelser, der er vist i tabel 5.3. Det udfyldte regneark vedlægges som digitalt bilag og fremgår af Bilag A.

Område, der bidrager	Areal [ha]	Bidrag [kg N/ha]	Samlet bidrag [kg N]
Vandløbsopland	22.340	16,8	375.254,5
Direkte opland	227	15,6	3.547,5
Projektområdet	29,59	7,5	222,0
Ialt	22.597		379.024,0

Tabel 5.3 Beregnet samlet tilførsel af kvælstof til Simested Å ved nedstrøms ende af projektområdet - se excelark i digitalt bilag for beregning, Bilag A

5.2.1 Projektforslag 1: Fra forundersøgelsen

Regnearkets beregning af omsætningen af kvælstof som følge af projektiltagene er, ligesom tilførselsberegningen, opdelt i vandløbsopland, direkte opland og projektområdet. Hvis der blev foretaget ændringer på Simested Å, som medførte flere oversvømmelsesdage i et større område, ville dette føre til en øget omsætning af det kvælstof, som kommer fra vandløbsoplandet. Dette er ikke tilfældet i nærværende projekt.

Beregningen af øget omsætning af kvælstof fra det direkte opland, baseres på hvor meget af det drænvand, der føres igennem området, som bringes til at overrisle/nedsive i projektområdet i stedet for at løbe lige ud i Simested Å. Antagelsen er, at der fjernes 50 % af det kvælstof, der bringes til overrisling/nedsivning. I det der er krav om, at projektet ikke må påvirke afvandingen af det direkte opland, har det været nødvendigt at lade en del af det tilførte vand fortsat løbe i grøfter ud til Simested Å. Efter en analyse i SCALGO anslås det, at ca. to tredjedele af det vand, der føres gennem området, bliver bragt til overrisling eller nedsivning, da et dræn omlægges til overrisling, og Gnavs Bæk får hævet vandløbsbunden, så den løber omkring terrænniveau. Derfor sættes satsen for kvælstofomsætning fra det direkte opland til 33 %. Idet selve projektområdet omlægges fra permanent græs til natur, der hverken må sprøjtes eller gødes, sænkes udledningsniveauet for området. Det antages at komme ned på 0-5 kg N/ha, og da der ikke er fundet kvalificerende oplysninger, sættes raten til 2,5 kg N/ha.

Den beregnede effekt på kvælstofudledningen fremgår af tabel 5.4

Område	Areal [ha]	Effekt [kg N fjernet]	Effekt [% N fjernet]
Vandløbsopland	22.395	0	0
Direkte opland	227	1.171	33
Projektområdet	29,59	148	67
Ialt	22.597	1.319	0,46

Tabel 5.4 Beregnet effekt på kvælstof efter implementering af forundersøgelsens projekttiltag

Se appendix A for det udfyldte regneark.

5.2.2 Projektforslag 2: Fra projekteringen

Der er fortsat ingen oversvømmelser med vand fra vandløbsoplandet, men en større del af det vand, der modtages fra det direkte opland, bringes til overrisling eller til terrænnært åløb med højere grad af nedsivning. Til gengæld er et dræn, der i forundersøgelsen foreslås ført til overrisling, bibeholdt i sin

nuværende form, idet det fandtes, at det lå for dybt til, at overrisling kunne lade sig gøre uden at påvirke dræningen af det tilstødende areal, som ikke er en del af projektet. Det samlede billede afspejles i kvælstofregnearket med en anslået større procentdel for kvælstofomsætning ved overrisling/nedsivning i forhold til projektforslaget fra forundersøgelsen.

Den beregnede effekt ses af tabel 5.5. Se appendix A for det udfyldte regneark.

Område	Areal [ha]	Effekt [kg N fjernet]	Effekt [% N fjernet]
Vandløbsopland	22.395	0	0
Direkte opland	227	1.596	45
Projektområdet	29,59	148	67
Ialt	22.597	1.744	0,46

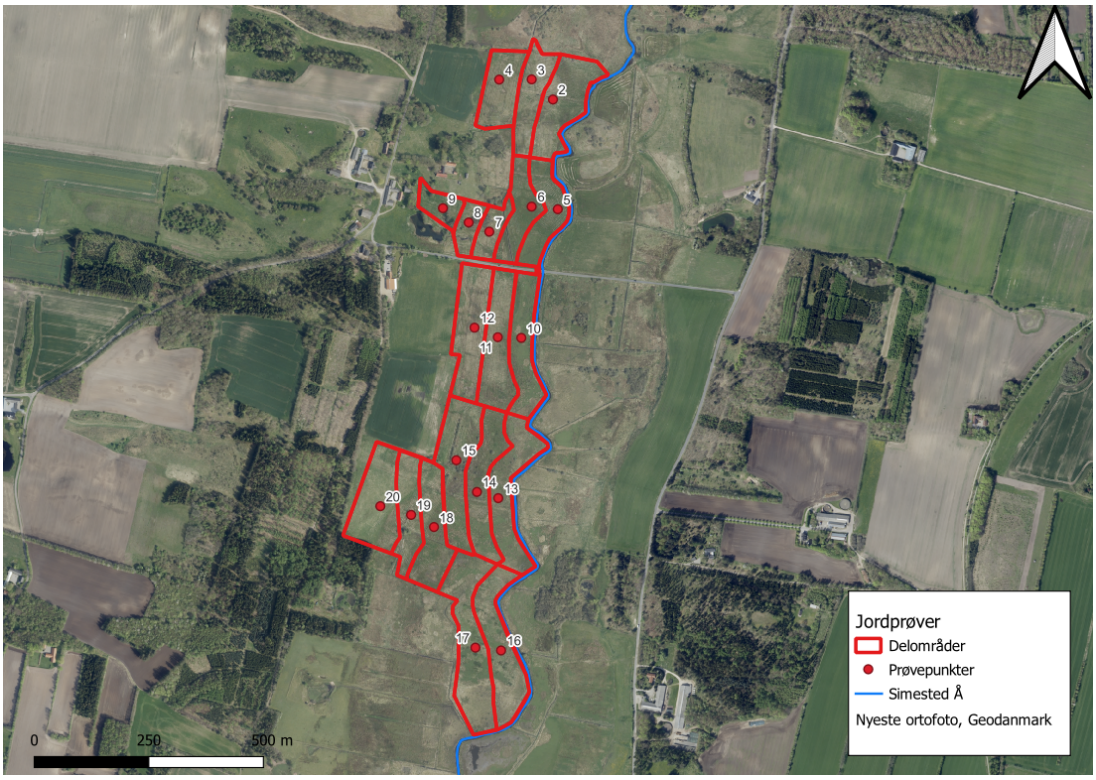
Tabel 5.5 Beregnet effekt på kvælstof efter implementering af projekteringens projekttiltag

5.3 Fosfor

Når tidligere drænet landbrugsjord vandmættes, er der risiko for, at jernbundet fosfor frigives og føres med vandet ud til recipienten. For at kvantificere det eventuelle fosfortab skal det undersøges, hvor meget jernbundet fosfor der er til stede i projektområdet. Derudover skal vandgennemstrømningen i området findes. Beregningen foregår i det regneark, der er udarbejdet til formålet. [DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi, 2023] [Miljøstyrelsen, 2024*c*]

For at bestemme puljen af jernbundet fosfor i projektområdet opdeles området i en række prøvetagningsfelter, hvor der fra hver tages en volumenprøve til bestemmelse af volumenvægt, samt en blandeprøve ud fra 16 delprøver taget jævnt fordelt i feltet, til bestemmelse af indholdet af bicarbonat-dithionit (BD), samt ekstraherbart jern (Fe_{BD}) og fosfor (P_{BD}). Prøverne udtages i de øverste 30 cm, hvor fosforindholdet typisk er højest. Jordprøverne analyseres af godkendt laboratorium.

Der tages jordprofiler i samme prøvefelter som fosfor-prøverne for at fastlægge jordbundens karakter og permeabilitet i projektområdet, hvilket indgår i beregningen af vandgennemstrømningen. De anvendte prøvefelter og placeringen af volumenprøver og jordprofiler ses på figur 5.4



Figur 5.4 Anvendte prøvefelter og -punkter til jordprøver [Artelia, 2024]

Anvendte værdier fra volumen- og fosfor-blandeprøver ses i tabel 5.6

ID for prøvefelt	Volumenvægt $[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}]$	P_{BD} (0-30 cm) $[\frac{\text{mg P}}{\text{kg tør jord}}]$	Fe_{BD} (0-30 cm) $[\frac{\text{mg Fe}}{\text{kg tør jord}}]$
2	243	130	3900
3	253	120	2400
4	252	68	1000
5	422	140	4200
6	436	120	3100
7	953	66	1200
8	1190	66	510
9	1300	140	1100
10	615	100	2500
11	468	65	1600
12	635	170	1600
13	342	170	2700
14	374	92	1400
15	647	55	1600
16	598	130	2500
17	255	120	3500
18	634	170	2700
19	592	81	2400
20	1130	130	1300

Tabel 5.6 Anvendte værdier i fosfor-regnearket på baggrund af de udtagne volumen- og blandeprøver [Artelia, 2024]

Den samlede fosforpulje i projektområdet er i regnearket beregnet til 4.324 kg P_{BD}. Regneark for fosforberegning er vedlagt som digitalt bilag - se Bilag A.

Anvendte værdier udledt af jordprofilerne ses i tabel 5.7.

ID for prøvefelt	Areal af prøvefelt (ha)	Tekstur	Permeabilitet
2	1,88	Uomsat tørv	1
3	1,28	Moderat omsat tørv	0,5
4	1,33	Svagt uomsat tørv	1
5	1,33	Svagt uomsat tørv	1
6	1,12	Muld, sand, silt	0
7	0,64	Gytjeholdigt sand	0,5
8	0,57	Vandmættet	1
9	0,58	Svagt uomsat tørv	1
10	1,64	Uomsat tørv	1
11	1,82	Uomsat tørv	1
12	1,91	Svagt uomsat tørv	1
13	2,01	Uomsat tørv	1
14	1,78	Uomsat tørv	1
15	2,13	Vandmættet	1
16	2,09	Moderat omsat tørv	1
17	2,66	Svagt uomsat tørv	0,5
18	1,64	Svagt uomsat tørv	1
19	1,27	Uomsat tørv	1
20	1,90	Svagt uomsat tørv	1

Tabel 5.7 Anvendte værdier i fosfor-regnearket på baggrund af de udtagne jordprofiler [Artelia, 2024]

Regnearket anvender desuden de samme oplandsarealer og klimagridnumre som kvælstofregnearket, som baggrund for beregning af Base Flow-indekset (BFI), som bruges til at skille vandgennemstrømningen i en overfladenær og en grundvandskomponent.

Herudover skal regnearket bruge oplysninger om den modellerede fremtidige tilstand af de enkelte prøvefelter i sommermiddelsituationen. Specifikt skal der udfyldes, om det enkelte felt forventes at fremstå permanent vådt, delvist vådt eller tørt, prøvefeltets højde over vandløbets sommer-middelvandstand og den modellerede grundvandsdybde. Her er der således en stærk afhængighed af modelleringen af sommermiddelsituationen. Desuden angives, hvor stort et drænet direkte opland hvis drænvand bringes til overrisling, hvor stort et areal der oversvømmes og i hvor mange dage på baggrund af oversvømmelse fra et vandløb med et oplandsareal på mindst 2 km^2, og der er mulighed for udregning af fosfortab fra søer og biomassehøst.

Herunder præsenteres input og resultater for beregninger af projektforslag fra forundersøgelsen på baggrund af WatsonC's Modflowmodellering. Det har desværre ikke været muligt at præsentere resultatet for projektforslag fra projekteringen på baggrund af Artelias VASP/GIS-modellering, da modelleringen ikke er færdig på tidspunktet for aflevering af projektet.

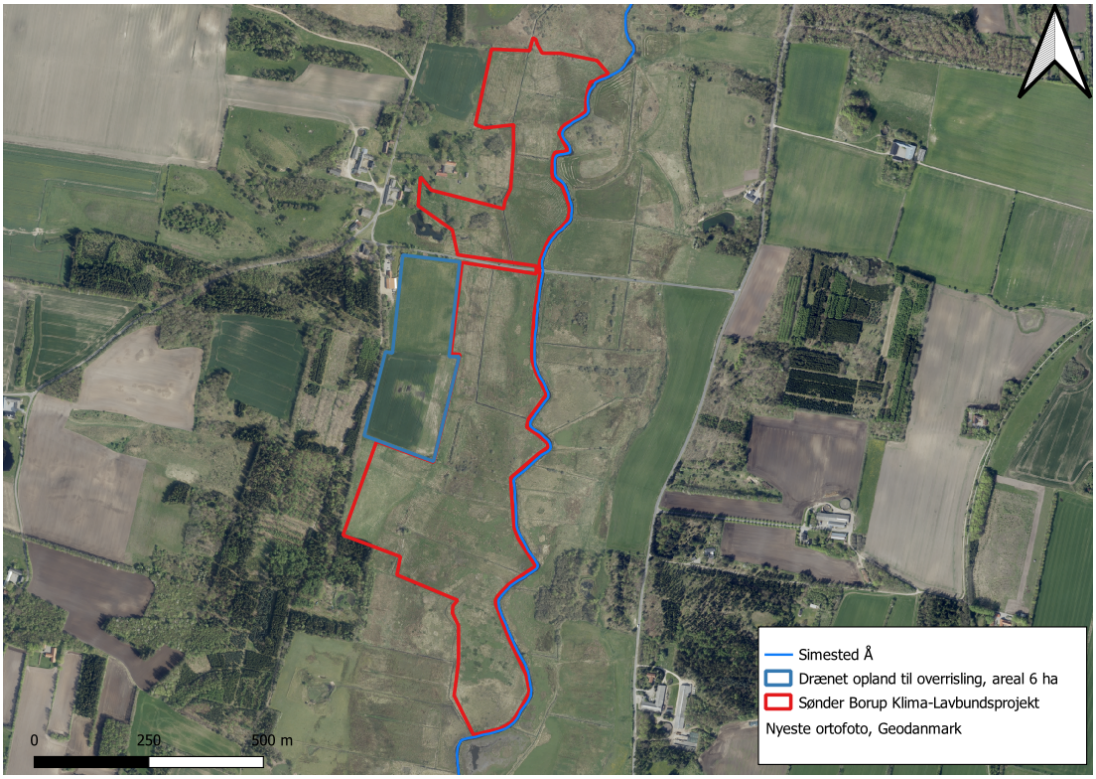
5.3.1 Projektforslag fra forundersøgelsen på baggrund af WatsonC's Modflow-modellering

Input til fosforberegningen på baggrund af Modflow-modelleringen fremgår af tabel 5.8

ID for prøvefelt	Type af område	Prøvefeltets placering over vandløbets sommer-middelvandstand $[cm]$	Grundsvandsdybde $[m]$
2	Delvist vådt	> 50	0,37
3	Permanent vådt	> 50	0,12
4	Delvist vådt	> 50	0,12
5	Delvist vådt	> 50	0,37
6	Permanent vådt	< 50	0,12
7	Delvist vådt	> 50	0,62
8	Delvist vådt	> 50	0,62
9	Tørt	> 50	1,50
10	Permanent vådt	< 50	0,00
11	Delvist vådt	> 50	0,25
12	Delvist vådt	> 50	0,50
13	Delvist vådt	< 50	0,25
14	Permanent vådt	< 50	0,00
15	Delvist vådt	> 50	0,25
16	Delvist vådt	< 50	0,25
17	Delvist vådt	< 50	0,25
18	Permanent vådt	< 50	0,00
19	Permanent vådt	> 50	0,12
20	Tørt	> 50	1,50

Tabel 5.8 Anvendte værdier i fosfor-regnearket på baggrund af de WatsonC's Modflowmodellering

Projektforslaget lægger op til at bringe dræn fra et tilstødende markareal til overrisling. Arealet er markeret på figur 5.5



Figur 5.5 Drænet direkte opland til overrisling

Da Simested Å ikke bringes til yderligere oversvømmelse og da Gnavs Å har et opland på under 2 km^2, indregnes der ikke tilbageholdelse ved sedimentation fra oversvømmelse. Resultaterne fra regnearket ses

i tabel 5.9. Regnearket er vedlagt som digitalt bilag - se Bilag A.

Størrelse	$[\frac{\text{kg P}}{\text{år}}]$
Samlet fosforfrigivelse fra projektområdet	56,8
Fosfortilbageholdelse ved sedimentation fra overrisling	0,4
Total fosfortilbageholdelse	-56,4

Tabel 5.9 Beregnet fosforbalance for projektområdet ved WatsonC's Modflowmodellering af projektiltag fra forundersøgelsen

Der tilbageholdes således kvælstof, men frigives fosfor fra projektområdet i en årrække efter projektgennemførelse. Miljøministeriet har stillet et regneark til rådighed, som udregner, hvor meget af kvælstofeffekten der bliver tilbage ved udledning af mere fosfor fra et projekt. Regnearket tager hensyn til hvilket delopland, der udledes til - i dette tilfælde Hjarbæk Fjord - og fastsætter herudfra en vekselkurs, som tager hensyn til deloplandets følsomhed for henholdsvis kvælstof og fosfor [Miljøstyrelsen, 2024*b*]. Regnearket er vedlagt som digitalt bilag - se Bilag A. Input og resultat ses i tabel 5.10.

N-retention	1.319 $\frac{\text{kg}}{\text{år}}$
P-frigivelse	56,4 $\frac{\text{kg}}{\text{år}}$
Tilbageværende N-effekt	26,5 %

Tabel 5.10 Input og resultat fra NP-vekselkurs-regnearket.

Den samlede næringsstofeffekt af projektet vil således i de første år forventes kun at være på 350 kg N/år. Dog forventes udledningen af fosfor at variere fra år til år med nedbøren og blive mindre med tiden, som fosforpuljen i jorden opbruges.

5.3.2 Delkonklusion

Med hensyn til de udførte stofberegninger er det således alene effekten på udledning af fosfor, der afhænger af afvandingskort/modelleret grundvandsdybde og vandløbsvandspejl, og det kun med hensyn til den fremtidige sommermiddel.

Beregning af effekterne på klimagasudledning afhænger alene af, hvilke delarealer der bliver foretaget ændringer i, der bringer området tættere på naturlig hydrologi, samt bufferzoner omkring tilbageblivende afvandingstiltag i disse områder, i kombination med kulstofindholdet i jorden ifølge kulstof2022-kortet.

Beregning af effekterne på kvælstofudledning afhænger af henholdsvis oversvømmelse med vand fra vandløbsoplandet, hvor stor en andel af vand fra det direkte opland, der bringes til overrisling og/eller nedsivning samt ændring af brugen af projektområdet. Hvis der foretages ændringer i det dominerende vandløb, her Simested Å, skal effekten på oversvømmelser vurderes ud fra modellering. Oversvømmelsesareal og antal oversvømmelsesdage skal bruges i beregningen. Her er således yderligere mulighed for, at modellering kan påvirke resultatet af en stofberegning – det har dog ikke været relevant i dette projekt og er derfor ikke undersøgt nærmere.

Kapitel 6

Diskussion

Af beregningerne på klimagas-, kvælstof- og fosforudledninger er det for nærværende projekt kun fosforberegningerne, der afhænger af modelleringen af det fremtidige grundvandsspejl i projektområdet. Ved projekter med ændringer på det dominerende vandløb vil der dog være behov for modellering af areal- og tidsmæssigt omfang af oversvømmelser med vand fra vandsløbsoplandet til beregning for både kvælstof og fosfor. Herudover bruges afvandingskortene til at give et indtryk af, hvad projektområdet kan holde til i forhold til for eksempel afgræsning eller høslet.

Afvandingskortene giver et billede af en teoretisk middelsituation - en middel dag på et middelt år - men der vil være store variationer fra år til år og i løbet af en given sæson, og de kan derfor ikke bruges til at sige noget præcist om, hvor man kan forvente at finde grundvandsspejlet på et specifikt sted på en specifik dag. Der er desuden ikke inkorporeret fremtidige klimaændringer i modelleringerne, som dermed ikke kan forventes at være fyldestgørende i forhold til, hvordan grundvandsspejlet kan forvente at opføre sig om for eksempel 50 eller 100 år, ud over den generelle tendens til vådere gennemsnit og større tidslig variation på grund af længere tørre perioder og voldsommere regn.

I fosforberegningerne er det ikke det præcise modellerede grundvandsspejl, der anvendes direkte. Det bruges i stedet til at informere valget af, hvilken type område et specifikt prøvefelt skal angives som i regnearket (permanent vådt, delvist vådt eller tørt), og denne kategorisering influerer så på, hvor meget fosfor der frigives. Her er altså tale om en forholdsvis grov opdeling.

På grund af forsinkelser i udviklingen af Artelias GIS-værktøj har det desværre ikke været muligt at modellere efter-situationer for samme projekttiltag, som WatsonC har modelleret med Modflow. Dette ville ellers have givet det bedste grundlag for at sammenligne, hvorvidt der er inhærent forskel på udfaldet af modelleringen på baggrund af valgt modelleringsmetode. Det ser ud til, at udgangssituationen kan modelleres meget ens på tværs af værktøjer, men da det er udgangssituationen, der bruges til at kalibrere sig frem til forskellige variabler i den anvendte metode, siger det ikke nødvendigvis så meget.

Et uforudset resultat af projektets undersøgelse er, at modelleringen af udgangssituationen er stærkt afhængig af det indtryk, den, der udfører modelleringen, har af områdets afvandingsforhold - altså hvor våd eller tør modelleringen skal ende med at være. Dette er dog netop en konsekvens af, at udgangssituationen bruges til at kalibrere modelleringen. Kvaliteten af kalibreringen kommer således til at afhænge af omfanget og kvaliteten af den modellerendes kendskab til projektområdet, da denne er bestemmende

for, om et realistisk niveau af vådhed opnås.

Det må formodes, at forskelle i modelleret udgangssituation vil resultere i forskelle på modelleret eftersituation. Dette vil så betyde, at i hvert fald fosforberegningerne kan ende med at blive påvirkede. Her er der tale om, at tørrere forhold generelt betyder mindre udledning af fosfor.

Det er dog interessant, at klimagasregnearket fornylig er opdateret til at antage generelt meget våde forhold i form af vandspejl i terrænniveau på kulstofholdige jorde i projektområdet. Dette er på baggrund af opfølgning på tidligere gennemførte projekter, hvor det blev konstateret, at modelleringen for fremtidige forhold generelt var for tør, og at vandspejlet på udrænede tørvejorder i projekterne lå omkring terræn [AU, GEUS og MST, 2023]. I fosforregnearket bruges dog fortsat det modellerede vandspejl som udgangspunkt for vurderingen af alle prøvefelters grad af vådhed i eftersituationen. For klimagasberegningen vil et højere vandspejl give gunstigere resultater, mens fosforberegningen som nævnt falder gunstigere ud ved tørrere forhold. De forskellige grundantagelser for beregningerne ser således ud til at give et positivt bias for begge beregninger.

Desuden baserer en del af stofberegningerne sig på vurderinger foretaget af den modellerende, som der ikke foreligger detaljeret vejledning til - eller nogen vejledning overhovedet. Her er der risiko for, at vurderingerne bliver meget subjektive, og måske mere positive end projektet objektivt giver belæg for. Regnearkene foreligger i reviderede udgaver fra 2023 og 2024 og bliver således kontinuerligt videreudviklet og forbedret. Dette fører forhåbentlig i fremtiden til yderligere strømligning af og støtte til troværdige beregninger.

Det forekommer relevant at følge op på udviklingen af etablerede lavbunds-genopretninger med henblik på at udvikle endnu bedre støtte og vejledning til modellering og beregninger, så der i videst muligt omfang kan sikres valide resultater af passende kvalitet.

Kapitel 7

Konklusion

Det er svært til umuligt at sammenligne de her berørte modelleringsmetoder og værktøjer direkte, da deres input og resultater afhænger af vidt forskellige input. Uanset hvilken modelleringsmetode der anvendes, kalibreres den op imod det indtryk, den, der udfører modelleringen, har af projektområdet. Derfor er indgående kendskab til projektområdet sandsynligvis vigtigere for validiteten af en modellering, end det anvendte redskab.

Vandspejl for vandløb og grundvand bruges kun i begrænset omfang i stofberegningerne. Kun fosforberegning og den del af kvælstofberegningen, der handler om oversvømmelser med vand fra vandløbsoplandet, bruger data fra modelleringer. Modelleringen af eftertilstanden for projektområdet har dermed mindre betydning for de beregnede effekter på udledning af klimagasser, kvælstof og fosfor end forventet.

Ud over modelleringen for fremtidig sommermiddel, bruger fosforberegningen et antal jordprøver, der skal analyseres i et godkendt laboratorium. Dette er tidskrævende og omkostningsfuldt.

Idet centrale dele af stofberegnings-regnearkene, ligesom modelleringerne af vandspejl, afhænger af subjektive vurderinger, kan der muligvis fortsat udvikles på disse. Især vil opfølgning på realiserede projekter og sammenligning med modelleringen af dem kunne give værdifulde input til, hvordan regneark og eventuelle krav til modellering og dannelse af afvandingskort kan udvikles, og om der kan opbygges mere objektive metoder, eller om det fortsat vil være erfaringsbaserede tilpasninger og vurderinger, der er centrale.

Da hurtig gennemførelse af vådlægning af lavbundsområder har prioritering for at mindske udledning af klimagasser og næringsstoffer, og beslutningsstøtteværktøjerne i form af officielle excelark til beregning af udledningseffekter er forholdsvis grove i beregningsopløsningen, virker det fornuftigt at fokusere på tids- og omkostningseffektivitet ved valg af modelleringsværktøj fremfor meget høj præcision eller dynamiske modelleringer.

Litteratur

Arealinformation [2024], *Danmarks Miljøportal*. Downloadet: 21-11-2024.

Artelia [2024], *Sønder Borup klima - lavbundsprojekt, Ved Simested Å, Forundersøgelse 2023/2024*.

AU, GEUS og MST [2023], *Beregningsark til estimeret CO2-effekt ved aktiv udtagning af lavbundsjord*. Downloadet: 06-12-2024.

DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi [2023], *Kvantificering af fosfortab fra vådområder og lavvandende søer*. Downloadet: 06-12-2024.

DHI [2025], *MIKE+*. Downloadet: 07-01-2025.

Ebbensgaard, T. [2022], *Hjarbæk Fjord – naturværdier, problemstillinger og potentialer*. Downloadet: 07-11-2024.

Karlsen, E. and Sørensen, I. [2014], *Vandforsyning*, number 3, Nyt Teknisk Forlag.

Liljensøe, J. [1979], *Vildering Kongesøn og Miseri Mø*, Tellerup.

Miljøstyrelsen [2023], *Opgørelse af kvælstoffjernelse ved oversvømmelse, overrisling/nedsivning, ekstensivering*. Downloadet: 06-12-2024.

Miljøstyrelsen [2024*a*], *Indkaldelse til Klima-Lavbund*. Downloadet: 07-11-2024.

Miljøstyrelsen [2024*b*], *NP-vekselkurs og nedstrøms søer*. Downloadet: 07-01-2025.

Miljøstyrelsen [2024*c*], *p-ark-april-2024*. Downloadet: 06-12-2024.

Miljøstyrelsen [2024*d*], *Vejledning til ansøgning og projektgennemførsel Klima-Lavbund*. Downloadet: 07-01-2025.

Naturstyrelsen [2014], *Naturstyrelsens vejledning til kvælstofberegninger*. Downloadet: 06-12-2024.

Naturstyrelsen, Landbrugsstyrelsen og Miljøstyrelsen [2024], *Temadag: Udtagning af landbrugsarealer*. Accessed on: 08-05-2024.

Olesen, P. J. E. [2016], *Klimaeffekten ved dyrkning af lavbundsjorde*. Accessed on: 07-01-2025.

Orbicon WSP [2020], *VASP 8.2 Brugervejledning*.

SCALGO [2024], *SCALGO Live*. Downloadet: 21-11-2024.

Scharling, M. [1999], *KLIMAGRID - DANMARK Nedbør, lufttemperatur og potentiel fordampning 20*20 & 40*40 km METODEBESKRIVELSE*. Downloadet: 16-12-2024.

Spildevandskomitéen [2023], *LAR-regneark v2023*. Downloadet: 11-11-2024.

Styrelsen for Grøn Arealomlægning og Vandmiljø [2024*a*], *Klima-Lavbund*. Downloadet: 16-12-2024.

Styrelsen for Grøn Arealomlægning og Vandmiljø [2024*b*], *Tilskud til vand- og klimaprojekter*. Accessed on: 07-01-2025.

US Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center [2025], *HEC-RAS*. Downloadet: 07-01-2025.

U.S. Geological Survey [2021], *FloPy: Python Package for Creating, Running, and Post-Processing MODFLOW-Based Models*. Downloadet: 07-01-2025.

U.S. Geological Survey [2022], *MODFLOW and Related Programs*. Downloadet: 07-01-2025.

Viborg Kommune [2024], *Lavbundsprojekter - igangværende*. Downloadet: 08-11-2024.

Viborg og Nordjyllands Amter [2001], *Regulativ for Simested Å*.

WSP [2022], *KLIMA-LAVBUNDSPROJEKT HALS MOSE TEKNISK FORUNDERSØGELSE*. Downloadet: 07-01-2025.

WSP Danmark [2024], *Vandportalen*. Downloadet: 25-11-2024.

Bilag A

Digitale bilag

Oversigt over medsendte digitale bilag:

- 1 Vandføring.xlsx
- 2 Vandstand kørende.xlsx
- 3 VASP projekt.vprj
- 4 Plot af vandspejl.pdf
- 5 Vandstand Skals Å.xlsx
- 6 opmålinger.csv
- 7 beregningsark-co2-effekt forundersøgelse.xlsx
- 8 mst n beregning jul2023 forundersøgelse.xlsx
- 9 p-ark-april-2024 forundersøgelse.xlsm
- 10 np-vekselkurs-maj-2024 forundersøgelse.xlsx
- 11 beregningsark-co2-effekt-version-12-6 projektering.xlsx
- 12 mst n beregning jul2023 projektering.xlsx
- 13 Forskelle afvanding.xlsx