



# Undersøgelse af den laterale bevægelse for tidevandskanalen Slagters Lo i årene 1945 til 2012

*Bachelorprojekt af Anne Ulriksen Dybkjær*



Foto: Per Hofman Hansen

**Vejleder:** Verner Brandbyge Ernstsén

**Ekstern medvejleder:** Klavs Eske Bundgaard (DHI)

**Intern medvejleder:** Mikkel Fruergaard

Afleveret den: 6. juni 2014

Antal anslag: 52.255



# Indhold

<b>ABSTRACT .....</b>	<b>5</b>
<b>1 INDLEDNING.....</b>	<b>6</b>
1.1 Problemformulering .....	6
<b>2 LOKALITETSBEKRIVELSE .....</b>	<b>7</b>
<b>3 TEORI.....</b>	<b>8</b>
3.1 Tidevandsområder .....	8
3.2 Marskdannelse .....	8
3.3 Ålegræs .....	10
3.4 Ortofoto .....	10
<b>4 METODE.....</b>	<b>11</b>
4.1 Behandling af ortofoto .....	11
4.2 Registrering af kanaler .....	12
4.3 Kanalernes laterale bevægelse .....	12
4.4 Registrering af marskudbredelse og ålegræsområde .....	15
4.5 Validering af ortofoto .....	16
<b>5 RESULTATER.....</b>	<b>17</b>
5.1 Alle kanaler .....	17
5.2 De primære kanaler .....	18
5.3 Lateral bevægelse.....	18
5.4 Marskudbredelse .....	20
5.5 Sammenfald mellem kanalstabilisering og lateral bevægelse .....	21
5.6 Ålegræsudbredelse.....	25
5.7 Validering af ortofoto .....	26
<b>6 DISKUSSION .....</b>	<b>27</b>
6.1 Nøjagtighed ved georeferering.....	27

<b>6.2</b>	<b>Anvendelse af manuelle GIS-værktøjer .....</b>	<b>27</b>
<b>6.3</b>	<b>Valg af hovedlinje samt undersøgelsesmetode .....</b>	<b>28</b>
<b>6.4</b>	<b>Lateral bevægelse.....</b>	<b>29</b>
<b>6.5</b>	<b>Marskudbredelse .....</b>	<b>29</b>
<b>6.6</b>	<b>Sammenfald med marskudbredelse og kanalstabilisering .....</b>	<b>29</b>
<b>6.7</b>	<b>Udvikling af området.....</b>	<b>30</b>
<b>6.8</b>	<b>Konceptuel model .....</b>	<b>30</b>
<b>7</b>	<b>KONKLUSION .....</b>	<b>34</b>
	<b>REFERENCER .....</b>	<b>35</b>
	<b>BILAG A: UNDERSØGELSE AF LATERAL BEVÆGELSESRATE .....</b>	<b>37</b>
	<b>BILAG B: RMS-VÆRDIER.....</b>	<b>38</b>

# ***Examination of the Lateral Migration for the Tidal Channel Slagters Lo in the Period 1945-2012***

Keywords: *Tidal channel, marsh, Wadden Sea, lateral migration, ArcGIS*

By Anne Ulriksen Dybkjær, 2014

## **Abstract**

The tidal channel Slagters Lo, east of the island Fanø in the Danish Wadden Sea, was analyzed in the period 1945 to 2012 from ortophotos by the use of ArcGIS. The lateral migration throughout the tidal channel varied between 20 and 700 meters for the entire time period and the migration was found to be dependent on processes such as the energy level in the surroundings and the extension of the marsh. The analysis showed that in 1974 marsh was present in the area and from 2004 it reached a level where it significantly influenced the stability of Slagters Lo, moving from unstable towards stable.

In addition to this a conceptual model was produced which describes how historical events might have affected the area. It is suggested that the disappearance of eelgrass could have influenced the growth of Keldsand turning it to a marsh area. Furthermore the conceptual model highlights that deposition of sediment further north has contributed to the development of Keldsand.

# 1 Indledning

Knudedyb tidevandsområde udgør ét af de i alt fire tidevandsområder i den danske del af Vadehavet og er det eneste af disse, der er upåvirket af direkte menneskelig indgriben. I modsætning til de andre tidevandsområder, bliver der her hverken udgravet af hensyn til skibstrafik, bygget dæmninger af hensyn til biltrafik eller foretaget andre lignende konstruktioner af menneskelige hensyn. Knudedyb tidevandsområde er således et naturområde, hvor de naturlige processer foregår og udvikler sig helt naturligt. Ydermere er Vadehavet udpeget til område af særlig beskyttelsesværdi.

Den vestlige grænse af tidevandsområdet udgøres af Fanø, der længst mod syd rummer byen Sønderho. Det var frem til årene omkring år 1980 muligt at sejle til Sønderho Havn af sejlrenden Slagters Lo. Denne sejlrende er i perioden herefter sandet til i en sådan grad, at den i dag kun er sejlbar for de meget lokale med små både, der har et nøje kendskab til forløbet og dybden af Slagters Lo (Sønderho Havn, 2007). Lokale i Sønderho etablerede i 2008 en støtteforening, der arbejder for at få genetableret naturhavnen i Sønderho og ikke mindst at få genskabt muligheden for at sejle til byen (Sønderho Havn, 2014). En rapport fra 2012 undersøger flere mulige sejlrender og konkluderer, at Slagters Lo mod nord er at foretrække (Fanø Kommune og Sønderho Havn, 2012). Formålet med at genskabe denne sejlrende er, at gøre det muligt atter at sejle mellem Ribe og Sønderho. Derudover er interessen også at gøre det lettere og mere attraktivt for turister at komme til Sønderho for at opleve byen og fra Sønderho ud og opleve Vadehavet (Mit Fanø, 2014a).

## 1.1 Problemformulering

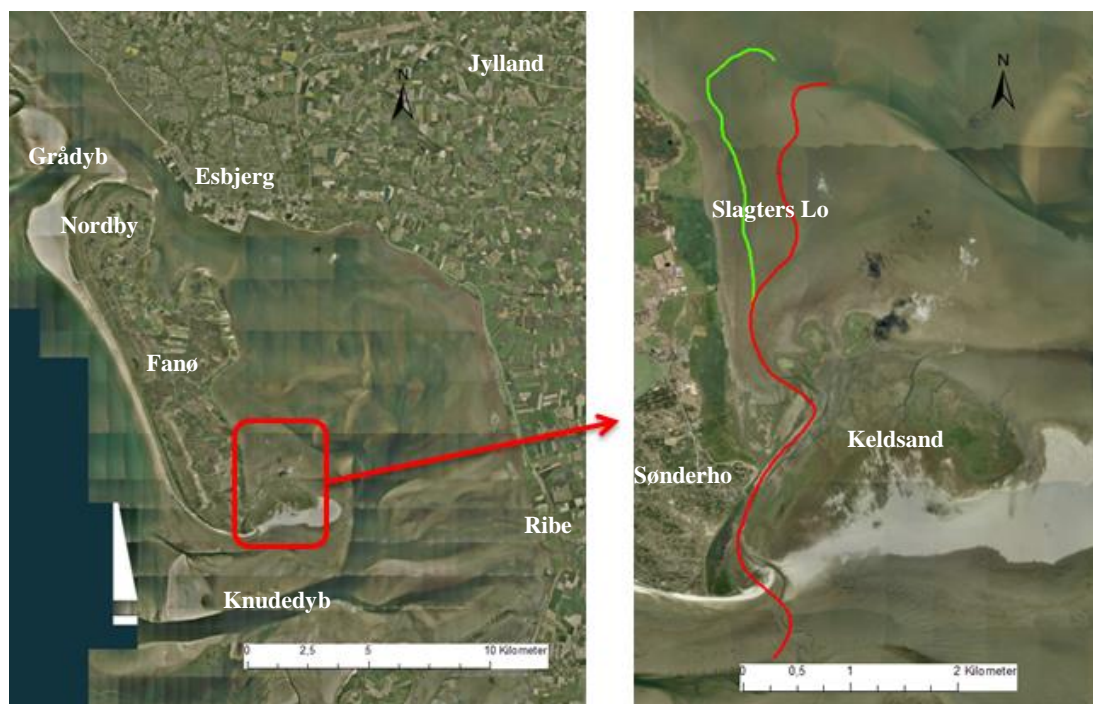
I dette projekt undersøges tidevandskanalen Slagters Lo og kanaler i direkte forbindelse med denne. Der undersøges hvilken lateral bevægelse Slagters Lo har haft i perioden 1945-2012. Derudover undersøges udbredelsen af det nærliggende marskområde ved Keldsand. Endeligt opstilles en konceptuel model der inkluderer udviklingen i området samt andre hændelser, særligt naturfænomener, der kan have haft indvirkning på området. Det centrale for projektet er således:

- At bestemme bevægelsen af Slagters Lo i årene 1945-2012.
- At kortlægge placeringen samt udbredelse over tid af ålegræs og marsk nær Slagters Lo.
- At vurdere marskens indvirkning på den laterale bevægelse af Slagters Lo.
- At opstille en konceptuel model der identificerer mulige sammenhænge mellem hændelser.

## 2 Lokalitetsbeskrivelse

Dette projekt undersøger området øst for den sydlige del af Fanø, Sydvestjylland. Området udgør en del af Vadehavet. Vadehavet strækker sig fra Blåvands Huk længst mod nord sydpå langs den danske, tyske og endeligt den hollandske vestkyst til Den Helder længst mod syd (Klagenberg et al., 2008).

Det undersøgte område er blandt den del af Danmark, der er domineret af et tidevand, der giver en synlig forskel i vandstanden i løbet af dagen og er en formdannende faktor. Ved lokaliteten for dette projekt er tidevandsstørrelsen omkring 1,8 meter (Aagaard et al., 2011). Med en tidevandsstørrelse under 2 meter er der tale om et mikrotidalt område, der derudover er semidiurnalt idet der dagligt forekommer to højvande og to lavvande (Pinet, 2013).



Figur 2.1: Kortudsnit over lokaliteten med angivelse af væsentlige områder.

Figur 2.1 viser lokaliteten, der arbejdes med. Ved det venstre billede ses Fanø mod vest, Esbjerg i nord og Ribe i øst. Den røde markering og billedet til højre viser nøjagtigt område for dette projekt. Dette område er en del af Knudedyb tidevandsområde, der mod nord er afgrænset af tidevandsskellet til Grådyb tidevandsområde og mod syd af Mandø med tilknyttet ebbevej. Mod vest og øst er tidevandsområdet afgrænset af Fanø og Jyllands fastland (Klagenberg et al., 2008). På billedet til højre ses tidevandskanalen Slagters Lo samt marskområdet Keldsand.

En undersøgelse af Sørensen et al. (2006b) viser at Knudedyb tidevandsområde i alt udgør 142 km<sup>2</sup>, hvoraf ca. 23 % er permanent vanddækket, mens de resterende 77 % udgøres af tidevandsflader. 83 % af tidevandsfladerne er sandflader, mens ca. 1 % er ren mudderflade og de sidste 16 % er miksede flader af sand, silt og ler.

## **3 Teori**

### **3.1 Tidevandsområder**

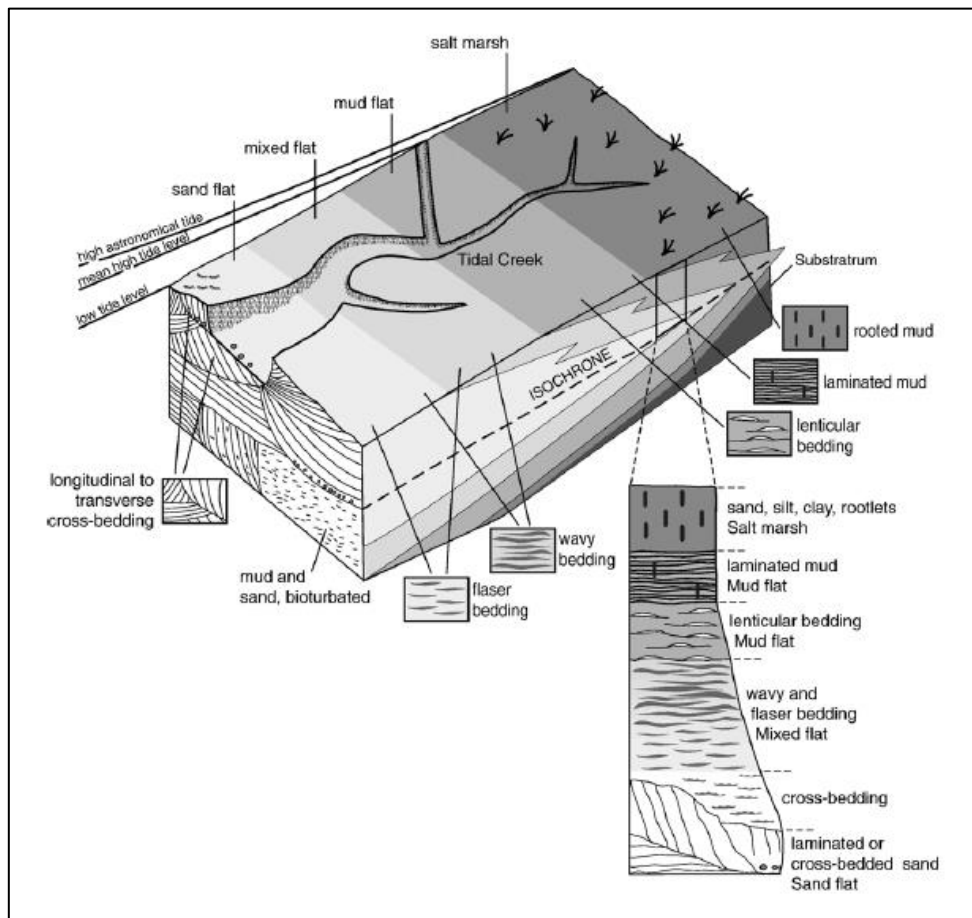
Tidevandsområder består af flader og et netværk af kanaler. Kanalerne i systemet kan inddeles i tre benævnelser. Der skelnes mellem de forskellige ved primært at betragte størrelsen – og deraf hvor stor en mængde vand, der kan transporteres – og delvist hvilken funktion kanalen har. De største af kanalerne er dybene, der udgør forbindelsen mellem det nærliggende hav og det indre havområde bag de yderste barrierer; her er det ved overgangen fra Nordsøen til Vadehavet. Det er i disse dyb den største mængde vand transporteres. Længere inde i systemet overgår dybene til løb, der er mindre kanaler hvad angår såvidt bredde og dybde. Overgangen mellem dyb og løb er diffus, dog ses løbene som dybenes forlængelse ind i systemet og er således blot mindre kanaler, der stadig oplever skiftene strømretning ved skift mellem flod og ebbe. Endeligt ses loer der gennemskærer marsken og fungerer her som dræningskanaler (Aagaard et al., 2011). I projektet anvendes betegnelsen kanal flere steder som fælles betegnelse for de tre typer.

Migrationen for kanaler i tidevandsområder har mange ligheder med den migration, der kan iagttages ved den fluviale migration af vandløb. Blandt andet er det kendt, at der også ved løb dannes en point barre i meandersvingene, hvor strømhastigheden er lavest og sediment aflejres (Aagaard et al, 2011).

### **3.2 Marskdannelse**

Området, der undersøges i dette projekt, udgøres i dag delvist af et marskområde. Kendetegnen for marsk er, at det udvikles i lavtliggende områder i læ af kystlinjen; eksempelvis i en lagune eller bag en krumodde. Dannelse af marsk er en proces bestående af flere udviklingstrin. Først ved det sidste af disse trin fremstår marsken som en tydelig forandring til det omkringliggende område, da der først ved dette trin ses vegetation. Der er her tale om særligt salttolerante plantearter, der samtidig har en evne til at fange og holde på finkornet sediment, der derved er med til en fortsat opbygning af området. Den typiske plante er spartina, der også ved denne lokalitet er velrepræsenteret (Holden, 2008).





Figur 3.1: Udviklingstrin for dannelse af marsk. Kilde: Mauz & Bungenstock (2007)

Gennemgående for marskområder er, at de dannes hvor der ved et tidligere stadie ses sandbanker. Disse sandbanker forekommer naturligt mellem de omkringliggende dyb og løb. Over fladerne aftager strømhastigheden, hvorfor aflejring af sediment her er muligt. Efterhånden som der aflejres mere og mere sediment, vil disse områder nå en højde i niveau med middelvandstanden. I yderste del af fladen nærmest den nærliggende kanal, aflejres de groveste sedimenter. Længere ind over fladen, i takt med at strømhastigheden er faldende, falder også kornstørrelsen på det aflejrede sediment, hvorfor det fineste aflejres helt til sidst. Hvor det fineste sediment aflejres, er der udgangspunkt for at marsk kan trives. Salttolerante planter kan her trives og spredes i området samtidig med at det holder på eksisterende samt ny finkornet sediment (Walker & James, 1992). Figur 3.1 viser de forskellige udviklingstrin i dannelsen af marsk samt sedimenttype knyttet til hvert trin.

Ved sidste trin skelnes der mellem den lavtliggende og den højere liggende marsk. Begge er dækket af vegetation – forskellen mellem de to afgøres af hvor hyppigt de overskylles af vand. Den lavtliggende overskylles dagligt ved højvande, mens den højere liggende kun overskylles ved særligt højt højvande og ved stormtilfælde (Pinet, 2013).

### 3.3 Ålegræs

Ålegræs er en havplante, der vokser kystnært på sandet bund. Planten består af et rodnet, der fæstner ned i sandet og grønne, smalle blade, der svejer i vandsøjlen i takt med vandets strømhastighed. Bladene kan blive op til 120 cm. lange og når aldrig op over vandoverfladen. Se figur 3.2.

Ålegræs er afhængig af sollys for at kunne vokse og overleve, hvorfor de typisk kun forekommer ud til 5-6 meters dybde i åbne havområder og omkring 3 meters dybde i fjordområder (Danmarks Naturfredningsforening, 2014).



Figur 3.2: Ålegræs på strandbund. Kilde: Danmarks Naturfredningsforening, 2014

Ålegræs har flere nyttige egenskaber til gavn for det nærliggende område. Dels har det en stabiliserende effekt på sand og mudder og har således en beskyttende effekt på kystområdet (Walker & James, 1992). Derudover fungerer de tætte ålegræsbede som hjem- og skjulested for mange dyr; blandt andet krabber, muslinger og fiskeyngel. Endeligt er der også dyr, der lever af ålegræs; det gælder særligt svaner og flere andearter. Det har således en bred påvirkning på den lokale flora og fauna, hvis et sådan område forsvinder (Danmarks Naturfredningsforening, 2014).

### 3.4 Ortofoto

Ortofotos er en samling af mange fotos taget fra luften, under klart vejr, der efterfølgende er bearbejdet og korrigeret, så der etableres et, sammenhængende kort, der desuden har knyttet koordinater til sig. I kortet er det nu muligt at måle afstande, arealer, registrere punkter tilknyttet et gps-punkt og zoome ind på detaljer. Idet geometrien er korrekt i et ortofoto, er det ligeledes muligt, ved anvendelse i eksempelvis ArcGIS, at tilføje andre lag ovenpå ortofotoet i forbindelse med undersøgelse af en given lokalitet (Scankort, 2014).

## 4 Metode

### 4.1 Behandling af ortofoto

En væsentlig del af projektet tager udgangspunkt i anvendelse af ortofotos. I dette projekt er disse indlæst og efterfølgende undersøgt for placering af centrale elementer i undersøgelsesområdet; det være sig kanalplacering, marskudbredelse og tilstedeværelse af ålegræs i området.

Første del af arbejdet er, at indsamle kortmateriale repræsenterende flest mulige år. Der er i projektet anvendt 18 kort dækkende perioden 1945-2012. Hovedparten af disse kort stammer fra to kilder; Fanø Kommune og COWI. Derudover er et enkelt kort fra SCANKORT. Af de 18 kort stammer 8 kort fra Fanø Kommunes hjemmeside, hvor kort produceret af NIRAS er frit tilgængelige. Af de resterende 10 kort, er 9 produceret af COWI og blot et fra SCANKORT. Alle 10 er tilgængelige på det fælles drev på computerne ved Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning, Københavns Universitet.

Kortene fra instituttets drev er alle direkte klar til brug og dermed indlæsning i ArcGIS (ESRI; Version 10.0, 10.1 og 10.2). Kortene fra Fanø Kommunes hjemmeside kræver lidt bearbejdning før de er klar til analyse. Fra hjemmesiden er det muligt at printe en pdf-fil med et kortudsnit af området. Til hvert år blev der printet to udsnit, for endeligt at give et mere detaljeret kort at arbejde med. I ArcGIS er det ikke muligt at indlæse pdf-filer, hvorfor filformatet må ændres. Til dette blev hjemmesiden [www.pdf2jpg.com](http://www.pdf2jpg.com) anvendt og filerne blev således ændret til jpg-filer. Det er nu muligt at indlæse filerne, men for at kunne anvende dem til en egentlig analyse, må de også georefereres. Der tilknyttes således koordinater til billedfilerne i ArcGIS, så de placeres ved den rette lokalitet efter indlæsning.

Ved de kort, der skulle georefereres blev værktøjet hertil, *Georeferencing*, i ArcGIS anvendt. Processen er den samme for alle år, hvorfor der her blot laves én gennemgang, der således er gældende for alle kort. På Fanø Kommunes hjemmeside, hvor disse kort stammer fra, oplyses x- og y-koordinater til et hvilket som helst punkt. For hvert kort blev der fundet koordinater for fire punkter, for at sikre en bedre præcision af kortenes endelige placering. Det væsentlige ved disse punkter er, at de knytter sig til et punkt i kortet, der skiller sig ud fra det umiddelbart omkringliggende; det værende eksempelvis en hvid plet midt i et mørkt område, det sydligste af en båd eller lignende. Uanset punktet, er der til hver en tid valgt at aflæse xy-koordinater for centrum af det anvendte punkt. Alle kort er georefereret til ortofoto fra COWI 2010. Dette kort er det senest tilgængelige, der dækker hele lokaliteten. Endeligt er den indlæste billedfil, der nu er knyttet til 2010-baggrundskortet, opdateret til denne nye, etablerede placering. I dette projekt præsenteres alle kort i ETRS\_1989\_UTM\_Zone\_32N.

## 4.2 Registrering af kanaler

Til registrering af alle synlige kanaler er *drawing*-værktøjet i ArcGIS anvendt; med funktionen *curved line*. Denne funktion giver mulighed for at tegne direkte hvor kanalen ses.

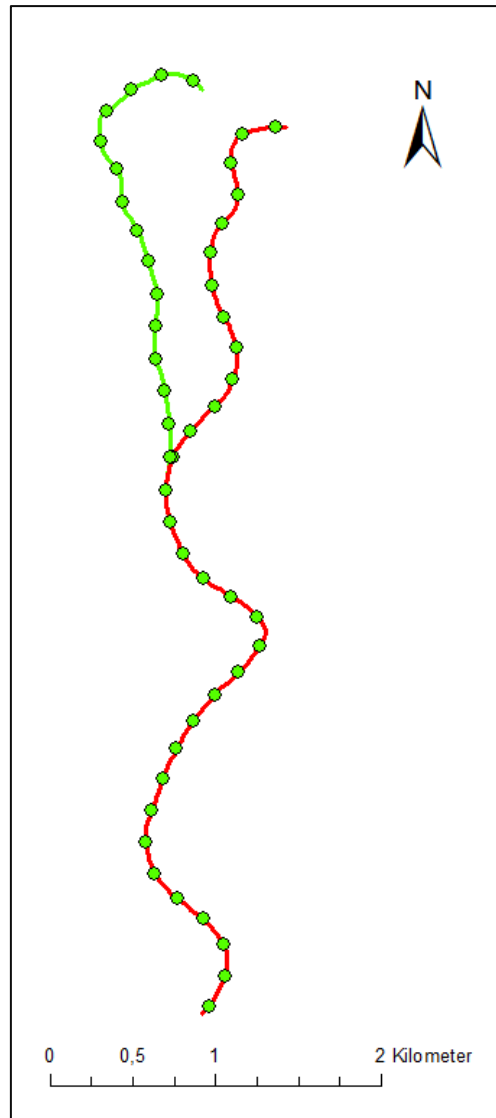
I arbejdet med at registrere kanaler, er der først fundet den primære kanal. Til flere af årene har der været en meget markant kanal, hvorfor det blev valgt at registrere denne først. Efterfølgende blev det vurderet hvilke andre kanaler, der er i naturlig forbindelse med den primære kanal. Under selve arbejdet med registrering af kanalerne er det til hver en tid forsøgt, at tegne linjeføringen midt i den aktuelle kanal. For hver kanal, der registreres, er disse efterfølgende gemt som en shapefil, så de kan tilføjes som selvstændige lag i det efterfølgende arbejde. Endeligt er alle kanaler tjekket om der eventuelt skulle justeringer til, for at gøre registreringen mere korrekt. Hvor det viste sig nødvendigt, blev *edit*-værktøjet i ArcGIS anvendt til at justere placeringen.

Efter registreringen af kanalerne er gemt som shapefil, er der dannet to filer til hvert år. Én der medtager alle kanaler til hvert år uafhængigt af placering og størrelse. Og en anden, der kun medtager det enkelte års primære kanal, hvilket er den der fremstår tydeligst.

## 4.3 Kanalernes laterale bevægelse

I undersøgelsen af den laterale bevægelse er anvendt to forskellige metoder. Det indledende arbejde er fælles for de to undersøgelser, mens den sidste del er forskellig.

Til disse metoder er der først tilføjet nogle hjælpelinjer og -punkter, der anvendes som udgangspunkt for undersøgelsen. Til dette formål er der først etableret én linjeføring fra syd mod nord langs Slagters Lo. Denne er tegnet manuelt med en *curved line* fra *drawing*-værktøjet i ArcGIS ud fra en vurdering af hvor koncentrationen af de registrerede kanaler er størst. Hvor Slagters Lo deler sig i to er der tegnet en kanal i begge retninger. Disse omtales i projektet som henholdsvis Vest og Øst, således at Slagters Lo Vest starter længst mod syd og fortsætter langs den vestlige opdeling og Slagters Lo Øst ligeledes starter i syd og fortsætter af den østlige opdeling. Det viser sig at Slagters Lo Vest er cirka 300 meter længere end Slagters Lo Øst. Resultatet af den optegnede linjeføring ses på figur 4.1. Herefter laves en undersøgelse af bevægelsesraten for hver 200 meter. Til hjælp herved er der langs den førnævnte linje sat et punkt for hver 200 meter. Dette er gjort ved brug af *measure*- og *drawing*-værktøjet i ArcGIS. Alle punkter er konverteret til shapefiler. Resultatet af de etablerede punkter ses ligeledes på figur 4.1. Ved opmålingen af de 200 meter er der tale om 200 meter langs linjen.

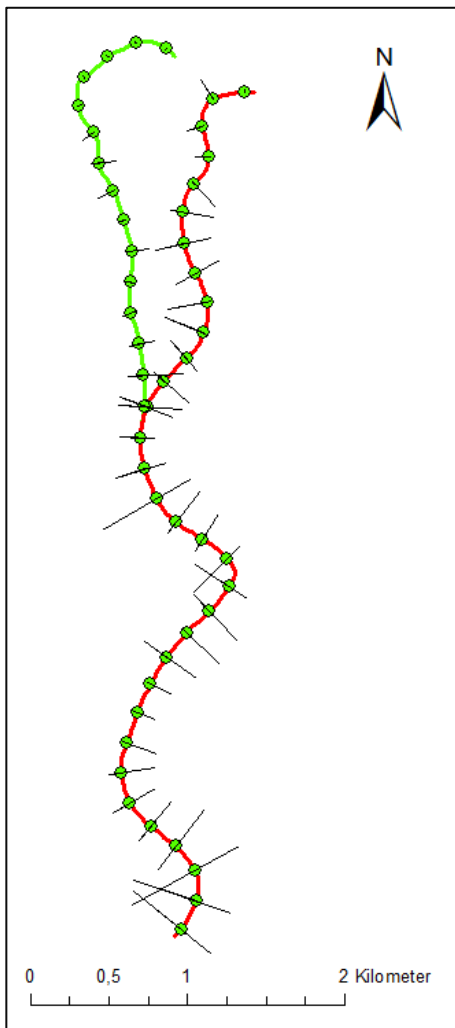


Figur 4.1: Fordeling af punkter med en afstand af 200 meter langs den etablerede linje.

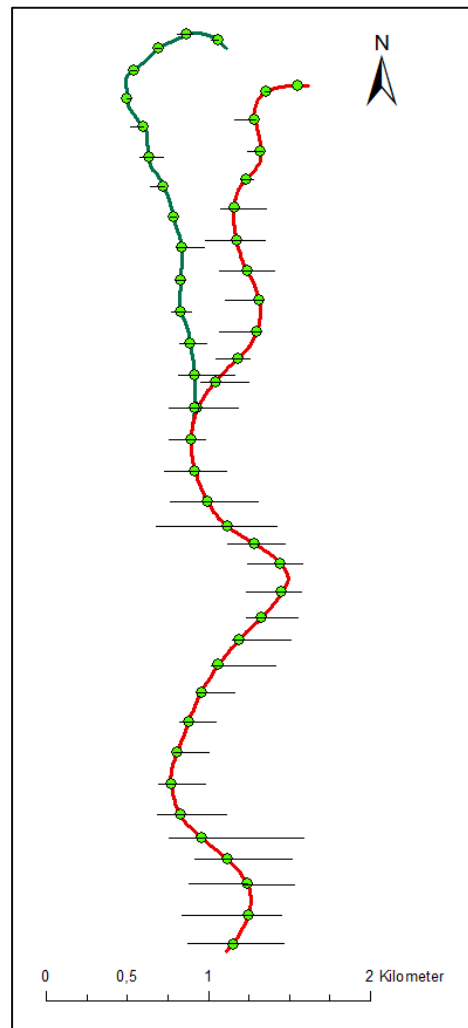
Til undersøgelse af bevægelsesraten er som nævnt valgt to metoder. Forskellen mellem disse er så begrænset, at den første del beskrives fælles, for så senere at præcisere hvordan metoderne adskiller sig fra hinanden.

Fælles for metoderne er, at der er tegnet en linje på tværs af alle kanaler med udgangspunkt i hvert enkelt punkt sat med 200 meter afstand. Denne linje er tegnet med *drawing*-værktøjet og efterfølgende gemt som en shapefil. I den nordlige del af området, hvor kanalen er delt i to, er linjerne tegnet, så de kun dækker de kanaler i området, der har en enten øst- eller vestgående retning – afhængig af hvorvidt det er et punkt i den østlige eller vestlige del af Slagters Lo, der behandles.

Med *measure*-værktøjet måles nu hvor langt der er på tværs af alle kanaler, langs den tegnede linje ved hvert punkt. Denne måling foretages både for alle kanaler og for de primære kanaler.



Figur 4.2: Den tegnede hovedkanal, punkter for hver 200 meter samt thalweg-vinkelret linjer.



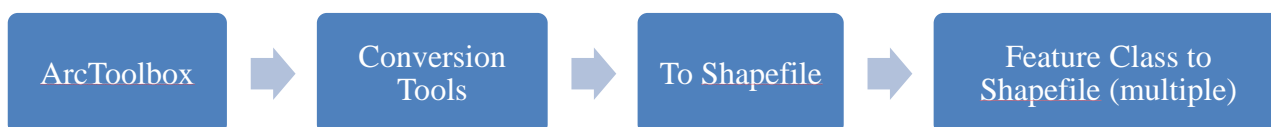
Figur 4.3: Den tegnede hovedkanal, punkter for hver 200 meter samt øst-vest orienterede linjer.

Ved den ene metode er kanalernes bevægelse undersøgt i en thalweg vinkelret linje på den etablerede hovedlinje, som beskrevet ovenfor. Disse linjer ses på figur 4.2. Ved den anden metode er undersøgelsen foretaget ved linjer, der alle er placeret i en øst-vest orientering ved punkterne langs hovedlinjen. På figur 4.3 ses hvordan disse fordeler sig.

## 4.4 Registrering af marskudbredelse og ålegræsområde

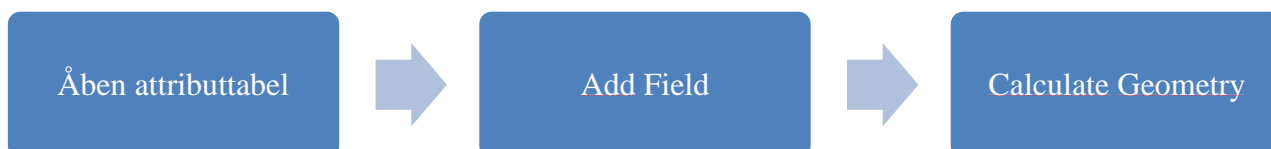
Fremgangsmåden til registrering af områder med marsk og ålegræs er den samme, hvorfor de her beskrives under et. Først er alle kort gennemgået for at vurdere til hvilke år de to vegetationstyper er synlige. Dernæst er *drawing*-værktøjet i ArcGIS anvendt til at tegne omridset af områderne til hvert synligt år. Ved nogle områder er den ydre grænse af marsken ikke veldefineret idet marsken er under konstant udbredelse og der ses enkelte, delvist spredte knolde i yderområdet. Særligt for det store område i øst, Keldsand, gør dette sig gældende. Det har her været nødvendigt at lave individuelle vurderinger af hvor grænsen skulle tegnes. Efter registrering af områderne er alle linjestykker gemt som shapefiler.

Efter registreringen af marskudbredelsen blev arealet af alle registrerede områder fundet. For at kunne dette, var det nødvendigt først at lave en konvertering af de enkelte linjestykker fra en 'feature class' til en 'shapefil'. Fremgangsmåden for konverteringen ses på figur 4.4.



Figur 4.4: Konvertering af feature class til shapefil

Herefter er proceduren, at der til hvert polygon, der nu er dannet, skal tilføjes en ny kolonne i attributtabelen, hvori arealet kan udregnes og tilføjes (se figur 4.5)



Figur 4.5: Udregn areal ved tilføjelse af kolonne i attributtabel

I undersøgelsen af arealet er det valgt kun at tage den del af lokaliteten med i betragtning, der er repræsenteret på alle kort; i 1980, 1985 og 2012 er kortudsnittet mindre end for de resterende år i undersøgelsen.

## 4.5 Validering af ortofoto

Undervejs i projektperioden har der været to feltture. Formålet med disse har været at validere de ortofotos, der er arbejdet med i projektet. Ved feltturene var der særligt fokus på to områder, der ved det indledende arbejde med ortofotos gennemgående har været vanskelige at vurdere placeringen af Slagters Lo på. Disse blev i felten observeret ved høj- og lavvande. De to områder er angivet på figur 4.6.



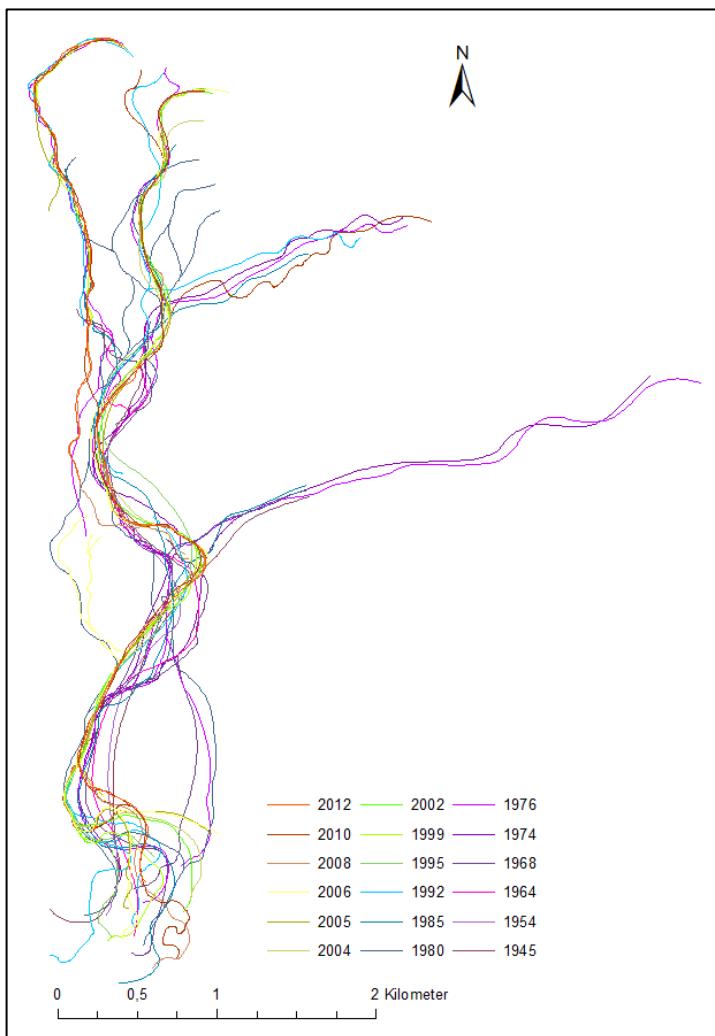
Figur 4.6: To områder (lokalitet 1 og 2) med særligt fokus ved feltture.



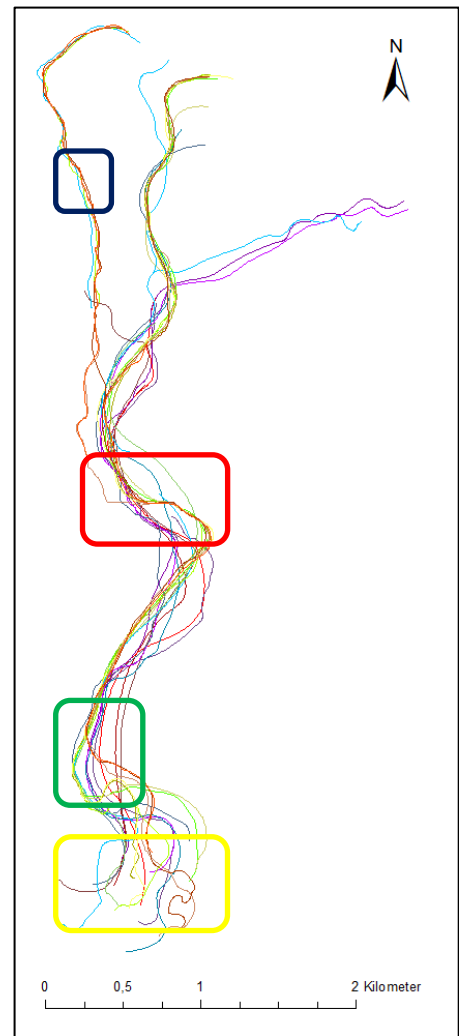
## 5 Resultater

### 5.1 Alle kanaler

Første undersøgelse i projektet har været, at registrere alle synlige kanaler. Der er her registreret alt synligt uden særlig hensynstagen til vurdering af bredde eller dybde af den aktuelle kanal, således at såvel de primære løb samt mindre tilløbskanaler registreres. Figur 5.1 viser resultatet af registreringen af alle synlige kanaler. Det ses, at der er tendens til én dominerende linjeføring hvor koncentrationen af kanalerne er størst. Samtidig ses det, at der er et spredt netværk af mindre, enkeltstående kanaler samt to linjeføringer i en østlig retning væk fra Slagters Lo.



Figur 5.1: Resultatet af registrering af alle kanaler



Figur 5.2: Resultatet af registrering af alle primære kanaler

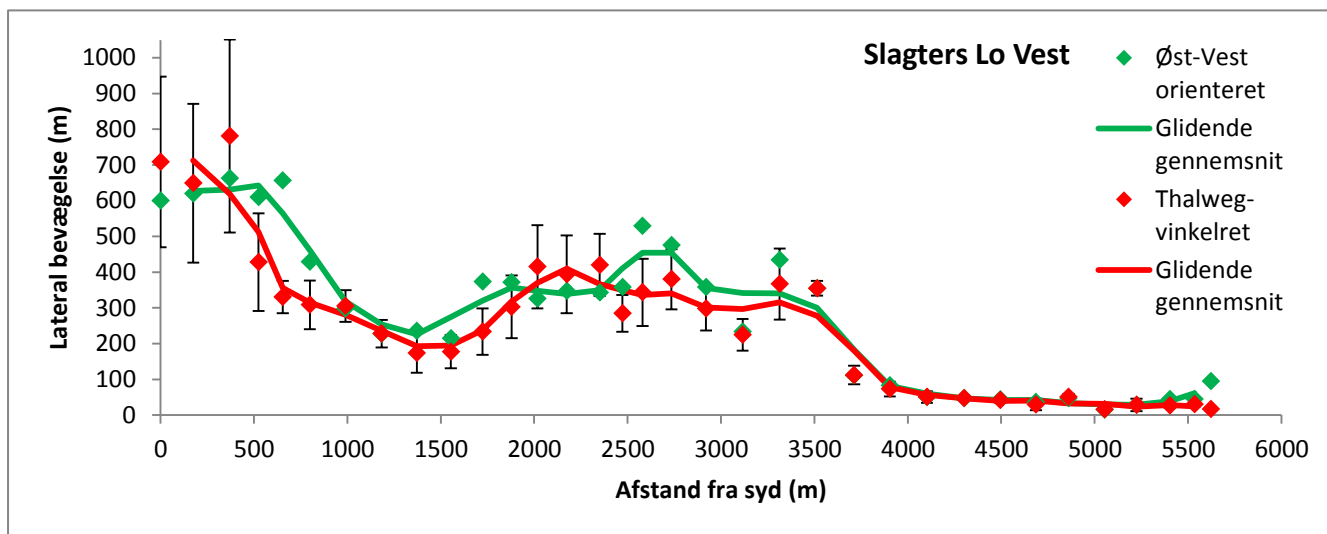
## 5.2 De primære kanaler

Ved registrering af samtlige kanaler blev det tydeligt at der var en tendens til i hvilket område kanalerne primært optræder og at der derudover var en del mindre kanaler lokaliseret uden særlig sammenhæng til de primære kanaler. Ved registrering af samtlige kanaler blev det tydeligt, at der til de fleste år er en dominerende, primær kanal med et antal mindre, tilløbende kanaler. Til hvert år blev det vurderet hvilke(n) kanal(er) der er den primære kanal og alle disse er samlet på et kort (figur 5.2). Ved betragtning af resultatet ses det at Slagters Lo mod nord splitter op i to, hvoraf den østlige er repræsenteret af flere streger da den er synlig flest år. Ydermere ses det, at der mod nord af Slagters Lo Øst sker endnu en deling af Slagters Lo idet der til tre år har været en tredje kanal. Længere mod syd, i den centrale del af kortet (rød markering), ses det at der er tendens til én linjeføring, men at der samtidig er kanaler placeret længere væk herfra og at koncentrationen af kanaler spænder over en bredere afstand end tilfældet er i den nordlige del af kortet (blå markering). Mod syd (grøn markering) er den dominerende linjeføring i den vestlige del af registreringerne, men stadig med et antal kanaler placeret mere tilfældigt og uden for sammenhæng med de resterende kanaler. Længst mod syd (gul markering) er kanalernes placering domineret af tilfældighed og den meget spredte placering skyldes det højere energiniveau, der er til stede i dette område.

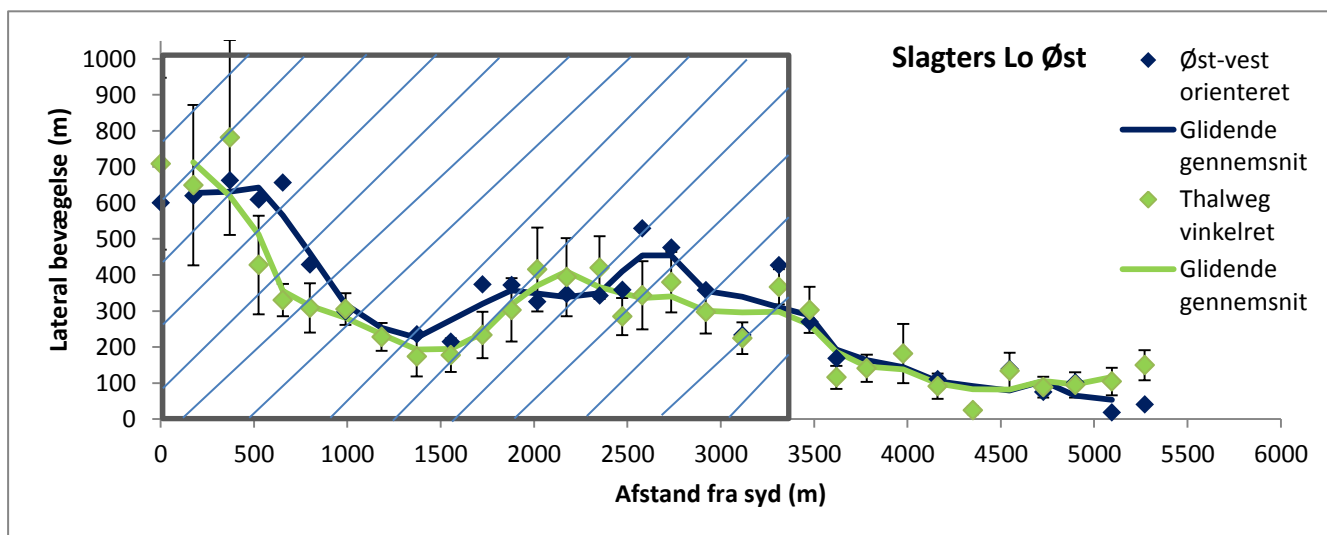
## 5.3 Lateral bevægelse

Efter at have undersøgt kanalernes placering til alle år, blev der undersøgt hvor stabil kanalplaceringen har været. Som beskrevet i metodeafsnittet blev denne undersøgelse foretaget med to lidt forskellige metoder. Undersøgelsen er foretaget med 200 meters afstand og det er valgt kun at undersøge den laterale bevægelse for de primære kanaler i systemet. En undersøgelse af forskellen mellem hvorvidt der undersøges alle kanaler eller kun de primære kanaler viser, at gennemgående er forskellen mellem de to målinger ikke stor, men at der enkelte steder ses en betydelig større bevægelse når der måles over alle kanaler. Dette bunder i at de mindre løb og tilløbskanaler medtages i målingen. Resultatet af denne undersøgelse fremgår af bilag A.

På figur 5.3 og 5.4 ses resultatet af undersøgelsen af den laterale bevægelse for alle primære løb i systemet. På figurerne ses resultatet af de to forskellige metoder.



Figur 5.3: Undersøgelse af den laterale bevægelse ved alle primære kanaler ved Slagters Lo Vest samt standardafvigelser.



Figur 5.4: Undersøgelse af den laterale bevægelse ved alle primære kanaler ved Slagters Lo Øst samt standardafvigelser. Det skraverede område indikerer, at grafen på dette stykke er ens med samme stykke på figur 5.3. Kun det sidste stykke af grafen er forskellig fra figur 5.3.

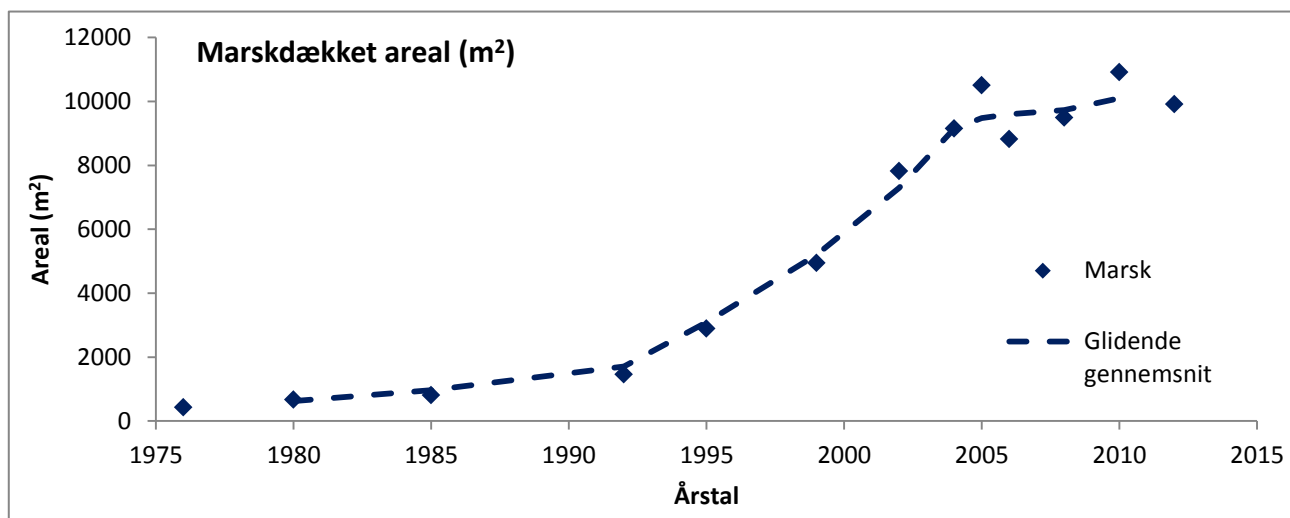
Af figur 5.3 og 5.4 ses det, at der er store variationer i den laterale bevægelse ved betragtning af hele grafbilledet. Det ses desuden at Slagters Lo Vest er mere stabil i placeringen efter kanalens opdeling i to end tilfældet er med Slagters Lo Øst. For metoden knyttet til de thalweg-vinkelrette målinger er desuden beregnet en standardafvigelse, der ligeledes ses på figur 5.3 og 5.4.

Det ses, at området med størst laterale bevægelse over de undersøgte 70 år er ved de sydligste 5-600 meter. Her er en bevægelse helt op omkring 700 meter. Fra dette område og frem til omkring 14-

1500 meter fra syd ses et nogenlunde jævnt fald indtil et lavpunkt omkring 200 meter lateral bevægelse. Herfra er en stigning igen til et niveau omkring 400 meter. En lateral bevægelse på 400 meter ses over cirka 1500 meter; i en afstand af 2000-3500 meter fra syd. Efter dette område ses et fald igen. Her forekommer desuden også den opdeling løbet gør i to; Slagters Lo Vest og Slagters Lo Øst. Ved betragtning af figur 5.3 ses det at den laterale bevægelse falder til et niveau omkring 30-50 meter og har et meget jævnt niveau den resterende del af strækningen. Det ses også at der her ikke er stor forskel på hvilken af de to metoder, der anvendes til opmåling af den laterale bevægelse. Når der i stedet ses på figur 5.4 ses det at der her er en større lateral bevægelse i den nordlige del og et ikke så voldsomt fald undervejs. Der er her et mere jævnt fald til et niveau omkring 80-100 meter.

## 5.4 Marskudbredelse

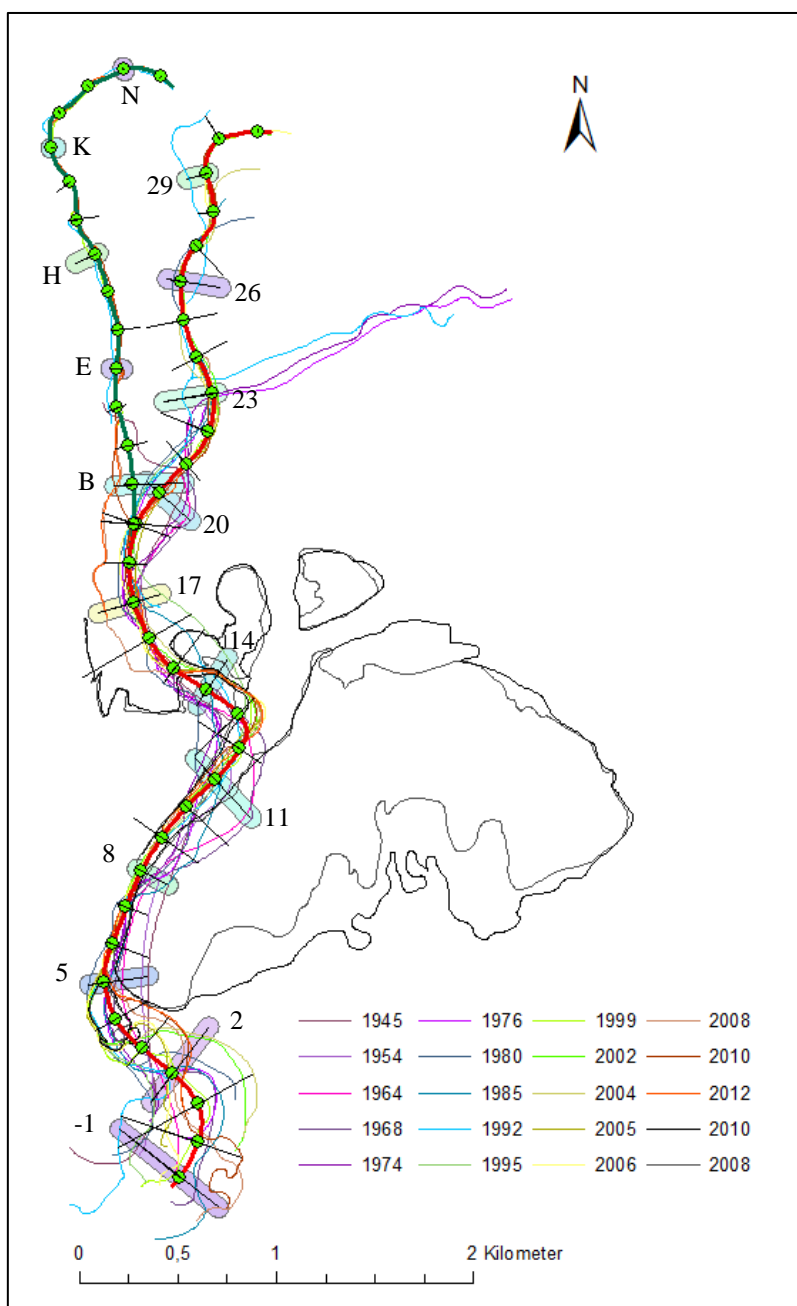
Første år, der ses vegetation ved marsken, er i 1976. Herefter er der til de førstkomende år en svag stigning i marskarealet, der dækkes af vegetation. Fra 1992 og frem til 2004 ses en væsentligt mere markant stigning i udvidelsen, hvorefter den videre udvidelse af området er mindre stigende igen med en stigningsrate tilnærmelsesvis den i den første del af perioden, indtil et niveau omkring 10.000 m<sup>2</sup>. Resultatet af undersøgelsen af marskudbredelsen ses på figur 5.5.



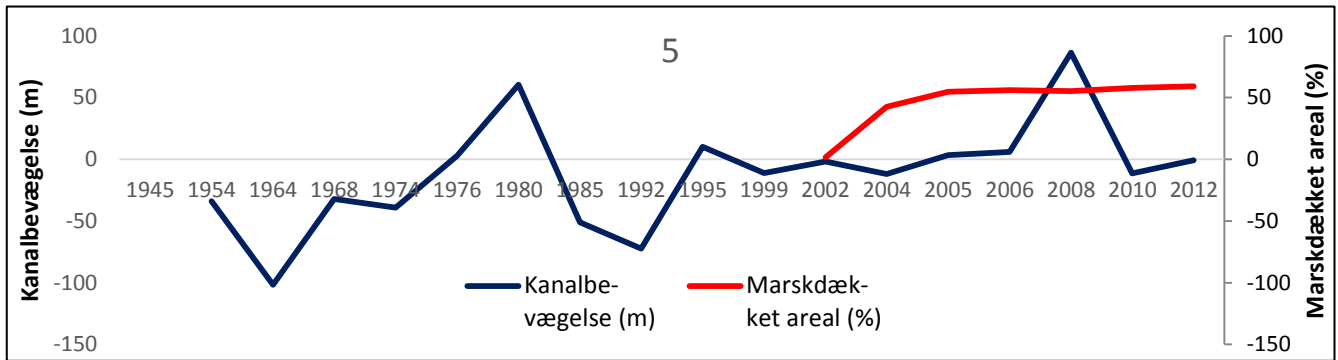
Figur 5.5: Resultatet af undersøgelsen af marskudbredelsen i området samt et glidende gennemsnit af punkterne.

## 5.5 Sammenfald mellem kanalstabilisering og lateral bevægelse

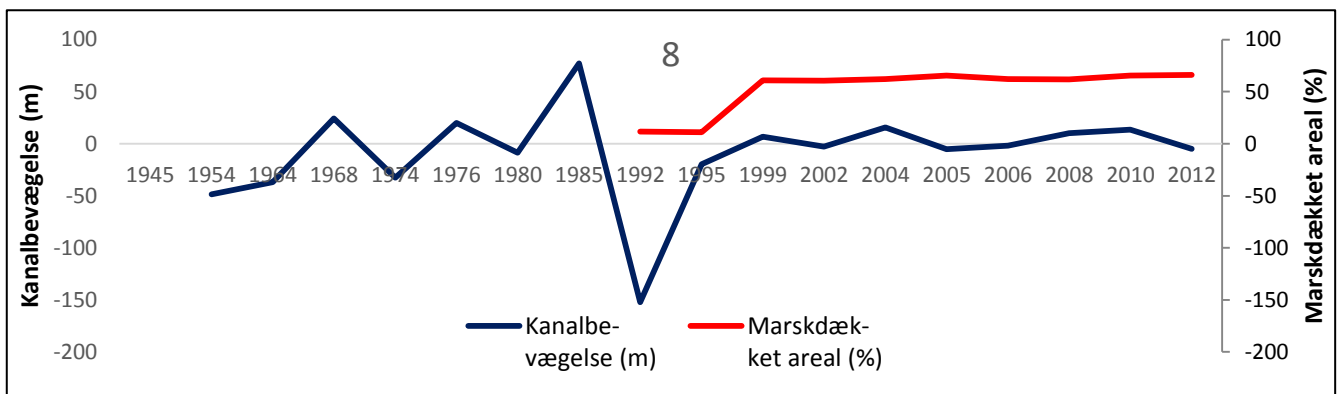
Figur 5.6 viser alle primære kanaler, hovedlinjeføringen langs Slagters Lo Vest og Øst, marskudbredelsen til årene 2008 og 2010, punkterne med 200 meters afstand samt bufferzoner for hver 600 meter startende i det sydligste punkt. Ved alle bufferzoner vist på figur 5.6 er kanalbevægelsen til hvert år undersøgt samt hvor stor en andel af bufferszonen, der er dækket af marsk. På figur 5.7-5.13 ses et antal grafer, der hver især viser dele af det opnåede resultat. Fælles for dem er, at de alle viser hvordan kanalbevægelsen har været ved hvert punkt målt i meter over tid. Ved figur 5.7-5.10 ses ligeledes udviklingen af marskarealets udbredelse.



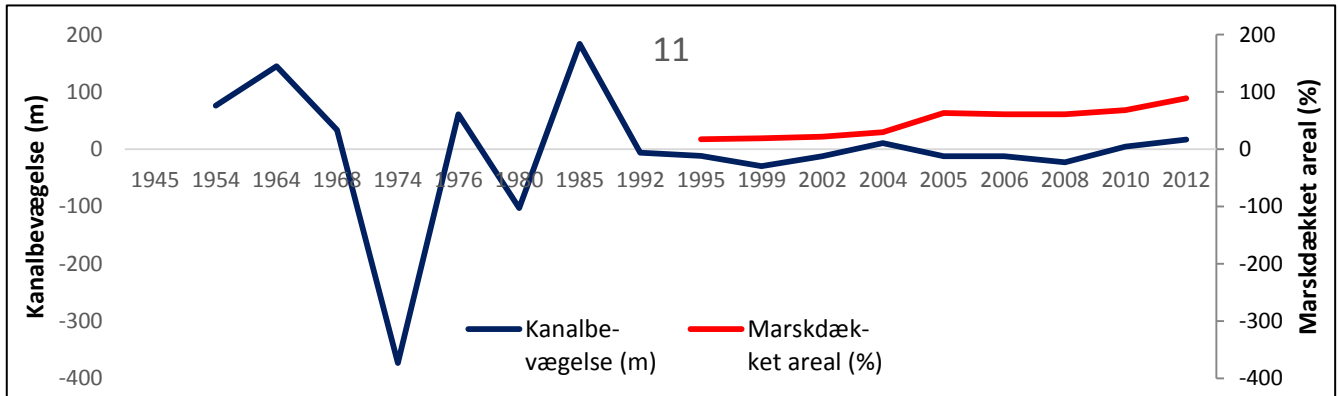
Figur 5.6: Alle primære kanaler, hovedlinjeføringen for Slagters Lo Vest og Øst, marskudbredelsen i 2008 og 2010, punkter med 200 meter afstand samt bufferzoner for hver 600 meter. Tal og bogstaver er knyttet til bufferzonerne.



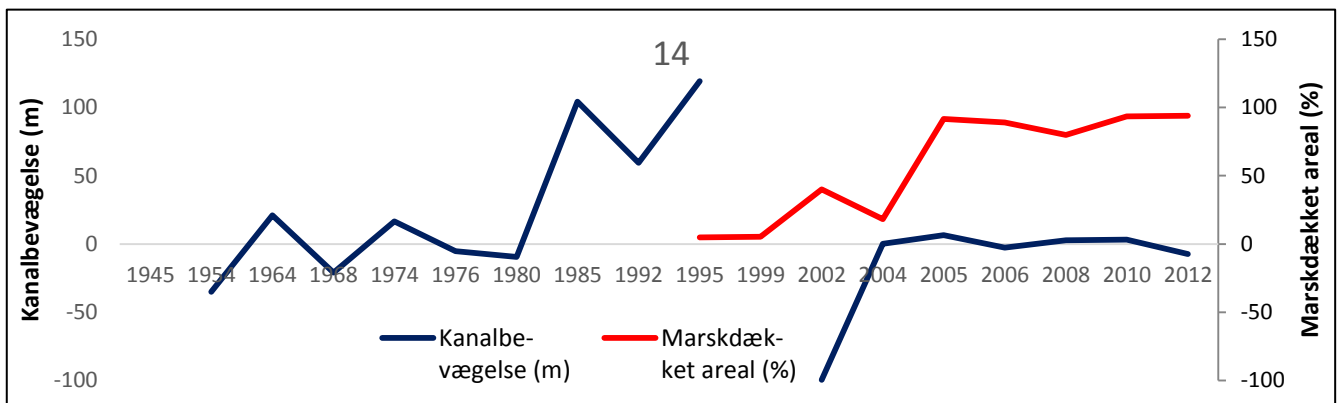
Figur 5.7: Kanalbevægelse (blå kurve) og marskdækket areal (rød kurve) ved punkt 5 (figur 5.6)



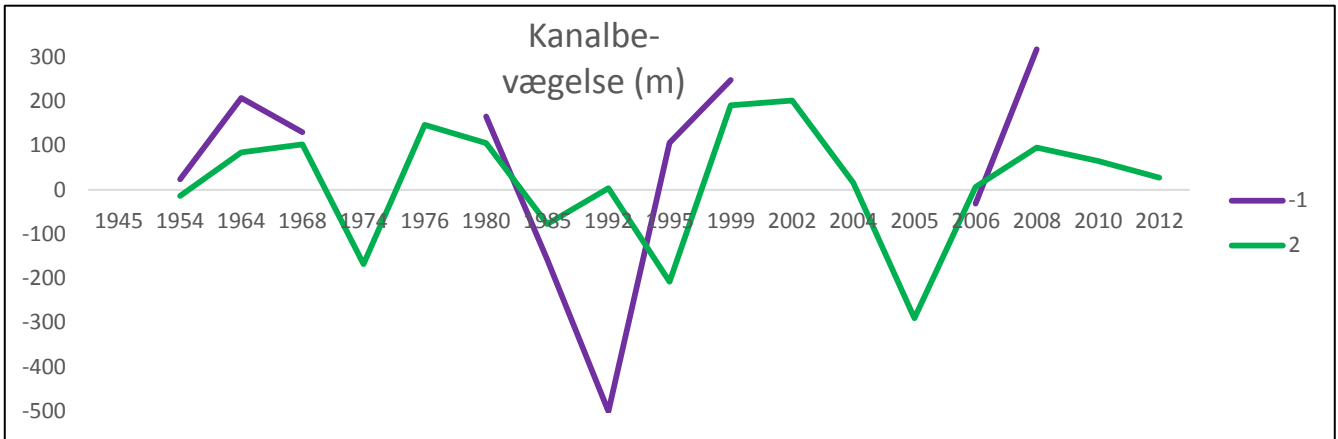
Figur 5.8: Kanalbevægelse (blå kurve) og marskdækket areal (rød kurve) ved punkt 8 (figur 5.6)



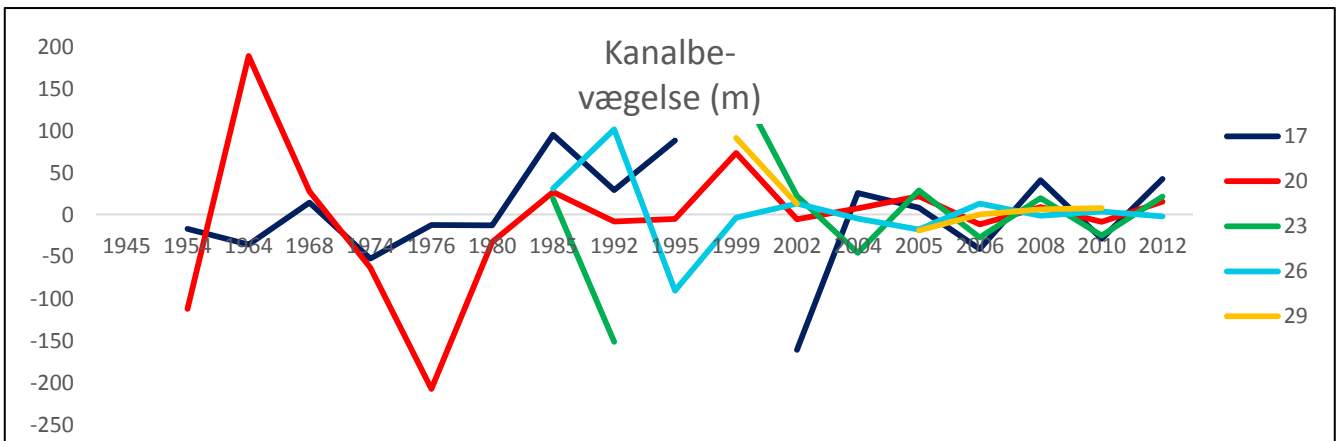
Figur 5.9: Kanalbevægelse (blå kurve) og marskdækket areal (rød kurve) ved punkt 11 (figur 5.6)



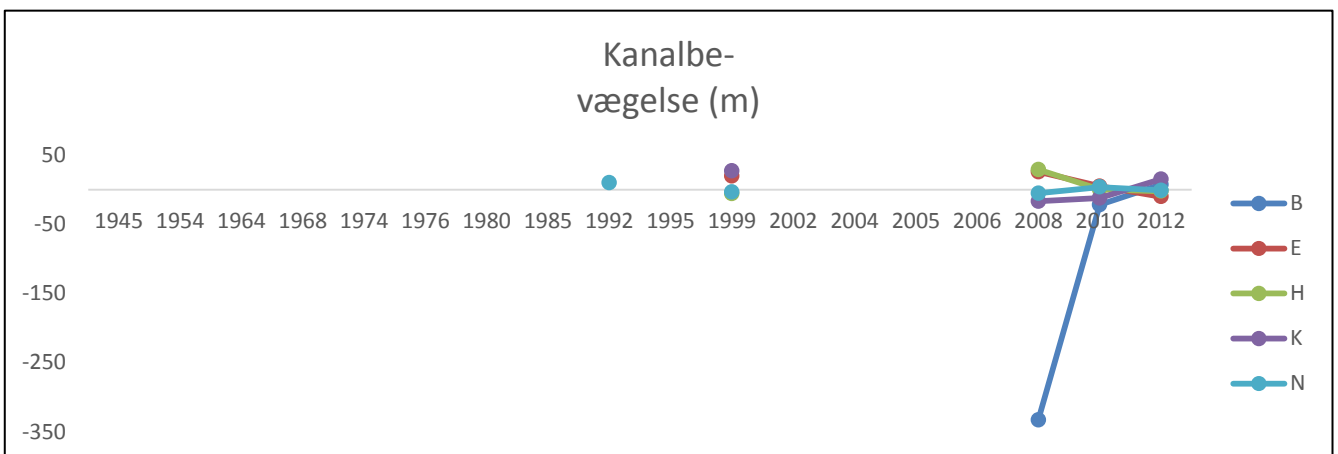
Figur 5.10: Kanalbevægelse (blå kurve) og marskdækket areal (rød kurve) ved punkt 14 (figur 5.6). Brud i graf skyldes mangel på synlig kanal ved pågældende år og lokalitet.



Figur 5.11: Kanalbevægelse ved punkterne -1 og 2 (figur 5.6). Brud i graf skyldes mangel på synlig kanal ved pågældende år og lokalitet.



Figur 5.12: Kanalbevægelse ved punkterne 17, 20, 23, 26 og 29 (figur 5.6). Brud i graf skyldes mangel på synlig kanal ved pågældende år og lokalitet.



Figur 5.13: Kanalbevægelse ved punkterne B, E, H, K og N (figur 5.6). Brud i graf skyldes mangel på synlig kanal ved pågældende år og lokalitet.

Figur 5.7-5.10 viser med blå linje hvordan kanalbevægelsen har varieret over de undersøgte 70 år. Den røde linje viser hvor stor en andel af bufferzonen, der til hvert år har været udgjort af marsk. Der ses her gennemgående for de fire figurer, at i takt med at marsken udbreder sig og når op i nærheden af at udgøre 100 % af bufferzonen, bliver kanalbevægelsen ligeledes mere stabil i placeringen. Ved figur 5.7 ses et pludseligt spring i år 2008, hvor kanalen ændrer placering med omkring 80 meter. Ved figur 5.10 ses det at der et enkelt sted er afbrudt forbindelse mellem punkterne. Dette skyldes at der i 1999 ingen kanal kan ses ved bufferzonen hørende til dette punkt.

Figur 5.11-5.13 viser ligeledes kanalbevægelsen. Ved punkterne som disse figurer er knyttet til, findes ingen marsk, hvorfor der her kun vises selve kanalbevægelsen. Der ses af den grund grafer fra flere af punkterne i samme figur. Figur 5.11 viser bevægelsen for de to punkter placeret længst mod syd. Der ses her, at der er stor dynamik og ingen klare mønstre i bevægelsen. På figur 5.12 ses hvordan Slagters Lo har bevæget sig i den østlige opdeling. Punkt 17 er fælles for Slagters Lo Vest og Øst, mens de resterende er knyttet til Slagters Lo Øst. Det er på figuren tydeligt, at Slagters Lo i perioden frem til 2002 varierer meget i kanalplaceringen. Herefter ses en mere stabil kanalbevægelse. Ligeledes ses det, at der i de sidste 10 år er en bedre repræsentation af kanalerne. I årene frem hertil kan Slagters Lo ikke findes ved alle de undersøgte punkter. Denne tendens går igen ved figur 5.13, der viser målingerne for Slagters Lo Vest. Det er ved denne figur meget tydeligt, at Slagters Lo kun er mulig at genkende på kortene de sidste tre år af undersøgelsen samt enkelte registreringer i 1990'erne.



## 5.6 Ålegræsudbredelse

Ved kort fra 1964 og 1968 ses områder, der i disse år har været ålegræsområder nær Slagters Lo. Det efterfølgende kort i dette projekt er fra 1974, hvor området ikke længere eksisterer og er således forsvundet et sted mellem 1968 og 1974.



Figur 5.14: Områder hvor der i 1964 og 1968 fandtes ålegræs.

Figur 5.14 viser udbredelsen af ålegræs til de to år 1964 og 1968. Det ses tydeligt at der er en markant udvidelse af området i disse år og også at udbredelsen særligt sker langs kyststrækningen.

## 5.7 Validering af ortofoto

En væsentlig opdagelse at gøre ved de beskrevne feltture var forskellen i området mellem høj- og lavvande. Ved lokalitet 1 (figur 4.6) er forskellen mellem høj- og lavvande af begrænset betydning. Der er her lavt i udgangspunktet, og der kommer ikke meget mere vand til ved højvande. Figur 5.15 viser området under højvande og figur 5.16 viser området under lavvande. En mere tydelig forskel mellem høj- og lavvande ses ved lokalitet 2. Kun ved lavvande (se figur 5.18) er det muligt at identificere forløbet af Slagters Lo. Ved højvande (se figur 5.17) fremstår området fuldstændig vanddækket og er svært at navigere i samt at vurdere dybden af kanalen ved.



Figur 5.15: Lokalitet 1 ved højvande



Figur 5.16: Lokalitet 1 ved lavvande



Figur 5.17: Lokalitet 2 ved højvande



Figur 5.18: Lokalitet 2 ved lavvande

## 6 Diskussion

### 6.1 Nøjagtighed ved georeferering

Ved georeferering af kort kan der stilles tvivl ved hvor nøjagtig georefereringen er og dermed hvor nøjagtigt et resultat, der arbejdes videre med. Til undersøgelse af denne problemstilling, produceres der i ArcGIS en værdi, der kvantificerer hvor nøjagtigt georefereringen er foretaget. Denne værdi kaldes RMS og giver en værdi for den afstand det enkelte kort afviger. Enheden her er den samme som enheden for det kort, der er georefereret til; altså her i meter. Ved georeferering til dette projekt er middelværdien for disse RMS-værdier på 4,37 meter. Ved nærmere undersøgelse af de enkelte værdier viser det sig, at særligt tre RMS-værdier (11,75; 12,59 og 29,19) er højere end de resterende RMS-værdier (0,36-3,84) Alle RMS-værdier kan ses i Bilag B. Når de tre høje værdier fratages udregningen, fremkommer en middelværdi for afvigelsen på kun 1,26 meter. De tre høje værdier stammer fra hvert deres år, hvor der til hvert år er stort overlap mellem det nordlige og det sydlige kort, hvorfor de lidt større usikkerheder i virkeligheden ikke ender med her at have stor påvirkning på den efterfølgende behandling af kortene og dermed det endelige resultat. En RMS-værdi på 1,26 meter vurderes så lav, at det regnes for en usikkerhed uden særlig betydning for resultatet.

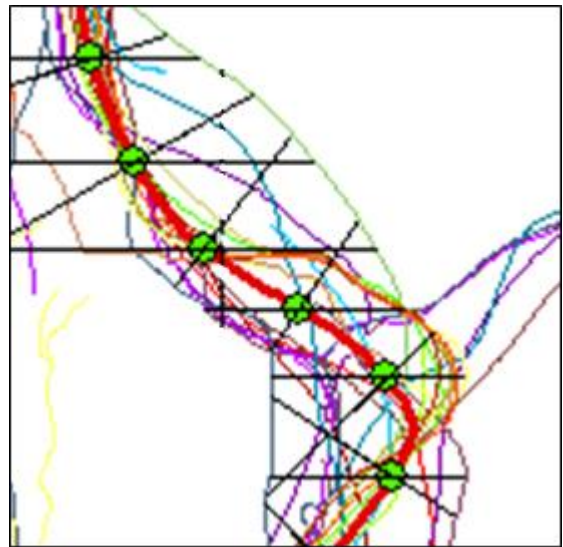
### 6.2 Anvendelse af manuelle GIS-værktøjer

Undervejs i arbejdet med dette projekt har flere gange været anvendt værktøjer i ArcGIS, hvor manuelt arbejde har været nødvendigt. Ved ethvert manuelt arbejde, er der risiko for at det ikke bliver udført tilstrækkeligt præcist nok og derfor har en misvisende effekt på resultatet. Særligt *drawing-* og *measure-*værktøjerne giver anledning til tvivl. Her er det ved begge muligt at gøre arbejdet præcist, hvis der zoomes langt ind på kortet og der samtidig klikkes med kort afstand imellem. Det bliver herved muligt, at arbejde præcist med disse manuelle værktøjer, hvorfor resultaterne ligeledes må betragtes som troværdige.

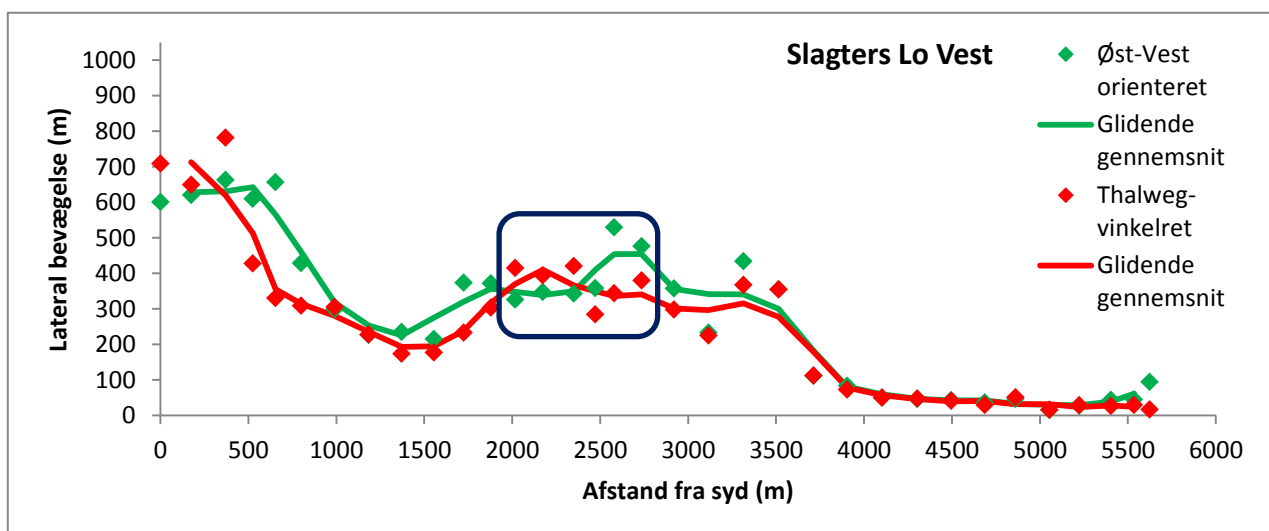
En anden parameter, der kan skabe usikkerhed ved resultatet, er den objektive vurdering, der løbende foretages i det indledende arbejde med at registrere kanaler. De enkelte ortofotos skal ved dette arbejde hele tiden vurderes for at vælge den korrekte linjeføring af tidevandskanalen. I afsnit 5.7 præsenteres eksempler på hvordan området ser forskelligt ud ved høj- og lavvande. Ved bearbejdning af de anvendte ortofotos er det ikke kendt til hvilket tidspunkt billederne er taget og derfor heller ikke til hvilket tidspunkt i tidevandsperioden. Et område som lokalitet 2 (se figur 4.6) forventes at fremstå forskelligt på et ortofoto afhængig af tidevandsperioden, hvorfor resultatet af registreringen af Slagters Lo også er i risiko for at være foretaget ved forskellige udgangspunkter uden dette har været hensigten alene på grund af mulig forskel i det tidspunkt de enkelte ortofotos er taget. Alle registreringer er i dette projekt foretaget før feltturene, men er ligeledes alle revurderet efter feltturene i forsøg på at gøre registreringen så korrekt som muligt og deraf undgå fejl foretaget på grund af forskellige tidspunkter.

### 6.3 Valg af hovedlinje samt undersøgelsesmetode

Når den laterale bevægelse undersøges er der ved dette projekt anvendt to forskellige metoder. Som præsenteret i resultatafsnittet giver disse nogle steder synligt forskellige resultater. Det er derfor af betydning om det er den ene eller den anden metode, der vælges ved undersøgelse. Figur 6.1 viser et udsnit af hele undersøgelseslokaliteten, hvor det tydeligt ses hvilken forskel der er mellem de to anvendte metoder. For et område som dette udsnit, hvor der er et kraftigt sving på linjeføringen opstår uhensigtsmæssigt lange målelinjer ved den vest-øst orienterede metode, hvorimod der ved metoden, der anvender en linje vinkelret på hovedlinjen, er en synligt kortere og mere korrekt afstand mellem de to yderpunkter. Det samme ses ved betragtning af figur 6.2. Her viser markeringen midt i grafbilledet hvilke punkter, der vises på kortudsnittet ved figur 6.1.



Figur 6.1: Udsnit af undersøgelseslokaliteten, hvor forskellen mellem de to anvendte metoder tydeligt ses.



Figur 6.2: Grafen ovenfor viser den laterale bevægelsesrate langs hovedlinjeføringen for Slagters Lo Vest. Markeringen midt i grafbilledet viser punkterne hørende til kortudsnittet præsenteret i figur 6.1.

De tre første punkter i det markerede område er eneste sted undervejs i grafen, hvor der er en tydelig lavere lateral bevægelsesrate ved den øst-vest orienterede metode end ved den thalweg-vinkelrette metode. For den resterende del af grafen ses, at metoden med en thalweg-vinkelret linje på hovedlinjen giver den mindste laterale bevægelse og vurderes som den mest korrekte metode at anvende.

## 6.4 Lateral bevægelse

I undersøgelsen her er fundet, at Slagters Lo har en lateral bevægelse på 20-700 meter over perioden på 70 år. Andre undersøgelser peger på, at tidevandsløb i marskområder er relativt stabile (Pestrong, 1965; Redfield, 1972). Andre har foretaget undersøgelser af den laterale bevægelse ved andre lokaliteter i verden end den aktuelle i dette projekt. Gabet (1998) har undersøgt et marskområde ved San Francisco, Californien. Her er foretaget en sammenligning af kortmateriale fra 1952 og 1995 samt en undersøgelse i felten i april 1995. Ved denne undersøgelse bliver der fundet frem til en lateral bevægelse på  $23 \text{ mm} \pm 23 \text{ mm}$  pr. år. Den store afvigelse skyldes en dårlig opløsning på kortet fra 1952 samt en høj afvigelse ved georeferering af samme kort. En anden undersøgelse af tidevandskanalers laterale bevægelse i marskområder er foretaget af Garofalo (1980). Ved dette arbejde blev 42 forskellige marskområder i den sydlige del af staten New Jersey, USA, undersøgt. Disse lokaliteter er en blanding af ferske og saline områder og er alle domineret af vegetation. Resultatet er her, at migrationen for tidevandsrender i saline marskområder i gennemsnit er på 0,21 meter pr. år. Til sammenligning er der ved dette projekt registreret en lateral bevægelse på hhv. 12,3, 2,61, 4,96 og 1,74 meter pr. år for punkterne 5, 8, 11 og 14 (se figur. 5.6) i det marskdominerede område. Ved sammenligning af disse tal med de ovenfor beskrevne resultater fra andre undersøgelser bliver det tydeligt, at der er stor forskel mellem de opnåede resultater. Selv ved punkt 14, der har den mindste bevægelsesrate i denne undersøgelse er resultatet lidt over 8 gange større end det, der præsenteres af Garofalo (1980).

## 6.5 Marskudbredelse

I undersøgelsen af marskens udbredelse i området er valgt at følge den yderste grænse for sammenhængende vegetation og opmålinger denne arealudbredelse. Som beskrevet i afsnit 3.2 er marskdannelse en proces bestående af flere trin hvoraf kun det sidste er vegetationsdækket. Ved en undersøgelse som denne, hvor ortofotos udgør datagrundlaget er det en naturlig grænse at vælge idet de andre trin i opbygningen af et marskområde er svære at definere præcist på et ortofoto. Havde der i stedet været foretaget undersøgelser i felten kunne man alternativt have valgt, at følge grænsen for en særlig kornstørrelse og dermed et af de tidligere trin i udviklingen. Denne metode havde vist en begyndende marskdannelse ved et tidligere år og ville ligeledes resultere i et større areal dækket.

## 6.6 Sammenfald med marskudbredelse og kanalstabilisering

I afsnit 5.5 præsenteres det grafisk (figur 5.7-5.10), at der er et sammenfald mellem marskudbredelsen og stabilisering af den laterale bevægelse. I takt med at et stigende areal dækkes af marsk ses det at den laterale kanalbevægelse i høj grad stabiliseres og ikke udviser samme dynamik som det ses tidligere i perioden; før der kommer marsk. Ved figur 5.7 ses et udsving i 2008 og ved figur 5.10 ses en svag forsinkelse af stabiliseringen af den laterale bevægelse. Det gælder for begge af

disse figurer, at de er knyttet til de to punkter yderst i det marskdækkede område, hvilket potentielt kan have indvirkning. Ellers er fælles for de fire figurer, at marsken har en stærk stabiliserende effekt. Dette understøttes af Vandenbruwaene et al. (2012), der bruger udtrykket, at tidevandskanalen ”fryser til” i den fremtidige bevægelse i det øjeblik den vegetationsdækkede marsk er dominerende i området. Disse resultater bygger på en undersøgelse foretaget ved Scheldt estuariet, Belgien, over en 4-årig periode.

## 6.7 Udvikling af området

En af konklusionerne, i en rapport over Knudedyb tidevandsområder af Klagenberg et al. (2008) er, at der er blevet større terrænforskel i området. Der henvises her til at vaderne er vokset i volumen og højde samt at tidevandskanalerne generelt er blevet både dybere og bredere. Begrundelsen er her, at tidevandsprismet er blevet større i undersøgelsesperioden med en øget vandudskiftning til følge. En undersøgelse af tidevandskanaler i Scheldt estuariet, Belgien, over en 4-årig periode af såvel nyligt dannede samt veletablerede marskområder indikerer, at udviklingen for kanaler i disse områder er en fortsat forlængelse af de eksisterende kanaler samt at kanalerne bliver dybere (Vandenbruwaene et al. 2012). Stefanon et al. (2010) har i laboratorie foretaget en række undersøgelser af hvilken påvirkning tidevandets kræfter har på et område i læ af barriereøer, altså hvordan det opbygges og udvikles. Denne undersøgelse støtter ligeledes op om at dybene bliver dybere.

## 6.8 Konceptuel model

Undervejs i de 70 år projektet omhandler, har flere hændelser uden direkte relation til lokaliteten fundet sted. Dette drejer sig om handlinger foretaget af mennesker samt naturligt forekommende fænomener. Uanset hensigten med disse hændelser, kan de have haft indvirkning på området undersøgt i dette projekt. Sådanne sammenhænge diskuteres i det følgende og er samlet i to konceptuelle modeller sidst i afsnittet (figur 6.4 og 6.5).

Generelt for den undersøgte periode viser undersøgelser, at middelvinden er stigende i styrke (Siegismund & Schrum, 2001; Christiansen et al., 2006). Siegismund & Schrum (2001) har desuden undersøgt den dominerende vindretning og fundet, at den i perioden 1958-1967 hovedsagligt kom fra en sydlig retning. Herefter var der et skift, hvor vinden de følgende 20 år hovedsagligt kom fra en vestlig retning for herefter i 1987 at skifte tilbage til en sydlig retning. Andre studier foretaget af Christiansen et al. (2004) fremhæver, at der i slutningen af 1970'erne var et skift i den dominerende vindretning idet der var et skift fra nordvest til en vest/sydvestlig retning. Samtidig med dette er vindstyrken ligeledes steget.

Klagenberg et al. (2008) dokumenterer, at middelhøjvande målt i Esbjerg er stigende i årrækken 1889-2006 samtidig med at middellavvande i samme periode er svagt faldende. Dette medfører at

tidevandsstørrelsen i perioden er stigende. En udvikling af denne karakter betyder, at stadig større arealer er under påvirkning af tidevandet og dermed udsat for erosion og aflejring.

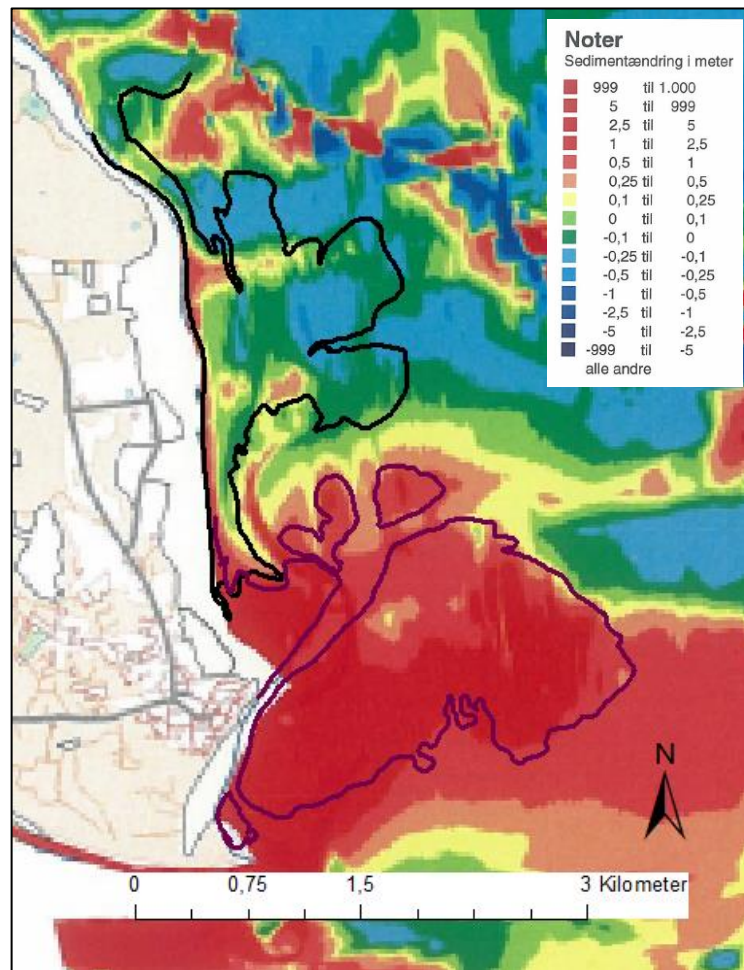
Yderligere et klimatisk forhold, der kan have haft indvirkning på området er forekomsten af isvintre. Hvis dele af Vadehavet fryser til om vinteren, kan sediment fastfryse på undersiden af isen. Vind kan herefter transportere disse flager til andre områder og herved flytte store mængder sediment med sig (Klagenberg et al., 2008). I perioden 1945-2012 har der været forekomst af adskillige isvintre, særligt interessant for projektet er den i vintermånederne 1969/70, der er sammenfaldende med ophøret af ålegræs i området der, som præsenteret i afsnit 5.6, sidst ses på kortet fra 1968. En isvinter må antages at kunne mindske for stor en mængde af sollyset, der når havets bund og deraf fjerne et centralt vækstvilkår for ålegræsset og altså potentielt forhindre væksten af det. Derudover forventes det, at isen, i kraft af de mængder sediment, der kan fastfryses og transporteres, kan ødelægge grobunden samt væsentlige dele af rodnettet i ålegræsområdet og derved hæmme overlevelsen af ålegræsområdet.

Klagenberg et al. (2008) præsenterer, at vanddybden over tidevandsskellet til Grådyb er blevet større og dermed medfører en øget mulighed for vandudveksling mellem Grådyb og Knudedyb tidevandsområde. Dette er samtidig med at, ved etablering af Låningsvejen til Mandø i 1970'erne, vandudvekslingen mod syd er blevet mindre. Endvidere er der i årene omkring 1980 ændret i strategien for klappning af opgravet sediment fra Esbjerg havn og indsejlingen hertil, således at det herefter klappes på østsiden af barriereøerne (Sørensen et al., 2006a). Det kan diskuteres om disse sammenfald har en påvirkning af opbygningen af området øst Fanø og hvorvidt dette ligeledes har sammenhæng til det stadigt voksende marskområde ved Keldsand.

En undersøgelse af vandstanden i Esbjerg Havn ved stormfloder for perioden 1870-2010 viser, at der frem mod i dag optræder en stormflodshændelse oftere og oftere samtidig med at flere af disse når vandstande højere end ved tidligere stormfloder (Aagaard & Sørensen, 2013). Klagenberg et al. (2008) fremhæver, at hyppigere storme har positiv effekt på marsken, der derved oftere oversvømmes og bringer heraf finkornet sediment til området med mulighed for aflejring. Omvendt er risikoen også at der kan forekomme større erosion ved vejrtyper af denne art, typisk andre steder i tidevandsområdet, hvor den medførte højere energi skaber større strømhastighed, der deraf kan erodere større sedimentstørrelser.

I en rapport fra Kystdirektoratet over Knudedyb tidevandsområde konkluderes det blandt andet, at der overordnet i perioden 1966-2003 er sket en transport af sediment fra den nordlige del til den sydlige og ydre, vestlige del af tidevandsområdet. Der er hertil knyttet en differensplan, der illustrerer i hvilke områder, der er sket en nettoerosion, i hvilke områder, der er sket en nettoaflejring samt hvilke mængder det drejer sig om (Klagenberg et al., 2008). En nærmere undersøgelse (se figur 6.3) af disse områder viser en sammenhæng mellem området, hvor der i 1960'erne var ålegræs og hvor differensplanen viser at en nettoerosion har fundet sted. Ligeledes ses et sammenfald mellem områder, der i dag udgøres af marsk og hvor en netto aflejring har fundet sted i perioden 1966-2003.





Figur 6.3: Differensplan præsenteret i Klagenberg et al. (2008) samt markering af området der i 1968 var domineret af ålegræs (sort) og marskgrænsen fra 2010 (lilla).

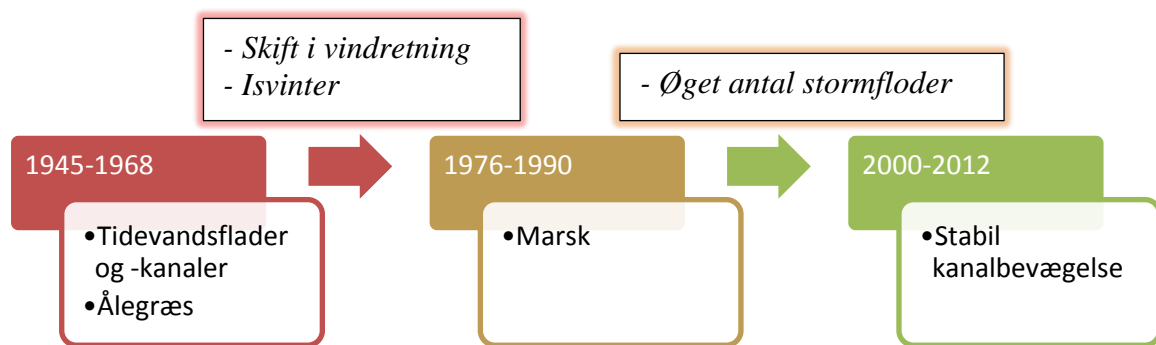
Ved undersøgelse af størrelsen af arealerne af den største udbredelse af ålegræs samt udbredelsen af marskområdet som det fremstår på ortofotoet fra 2010 (idet 2012-ortofotoet ikke dækker hele området) og efterfølgende ganger med den mængde sediment der, ifølge differensplanen, er henholdsvis eroderet eller aflejret viser det sig, at det ved ålegræsområdet drejer sig om et areal på  $14.725 \text{ m}^2$  og ved marskområdet drejer det sig om et areal på  $16.430 \text{ m}^2$ . Figur 6.3 viser et udsnit af en differensplan præsenteret af Klagenberg et al. (2008), hvor der er udregnet forskellen mellem niveauet fra 1966 og niveauet fra 2003. Den sorte markering på kortet markerer den ydre grænse for ålegræsudbredelsen i 1968. De lilla markeringer viser grænsen for marskudbredelsen i 2010. Det vurderes at der i ålegræsområdet i gennemsnit er sket en erosion på 0,1 meter og at der i marskområdet i gennemsnit er sket en aflejring på 0,5 meter. Samlet over arealerne giver dette en total eroderet mængde på  $1.472,5 \text{ m}^2$  og en total aflejret mængde på  $8.215 \text{ m}^2$ , dvs. at der er aflejret en mængde der er cirka 5,5 gange så stor ved Keldsand som der er eroderet ved ålegræsområdet.

Én teori kan være, at sammenfaldet mellem ålegræssets forsvinden og opbyggelsen af marsken ved Keldsand er i direkte sammenhæng. Med disse udregninger afkræftes det idet udregningerne viser,

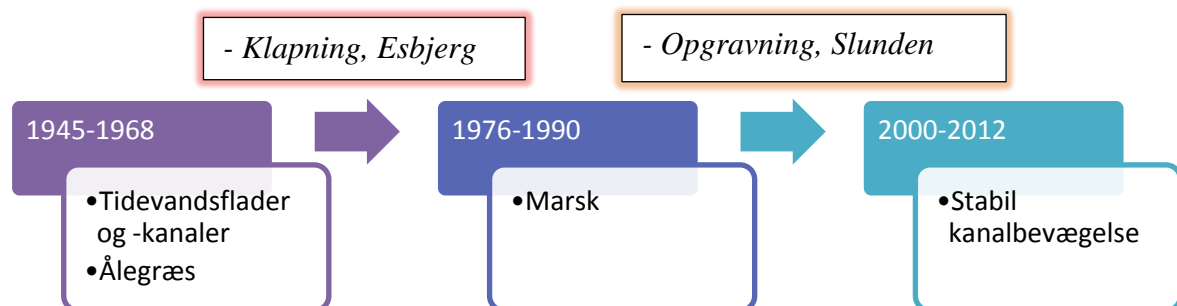


at til trods for at det må antages at en stor mængde sediment er blevet resuspenderet og frit i vand-søjlen umiddelbart efter at ålegræsset er forsvundet fra området, så er der ikke tale om en stor nok mængde. Der har således også været sediment transporteret fra andre kilder til Keldsand. Dette kan delvist stamme fra klapning ved Esbjerg Havn samt udgravning af Slunden med opstart i 1994 (Mit Fanø, 2014b). Derudover ses det også rimeligt at en øget mængde sediment ved Keldsand blandt andet er resultat af en ændring i den dominerende vindretning, hvorved energiniveauet er orienteret mod Keldsand der herved ændrer den mængde sediment der transporteres til området. Samtidig hermed er retningen af langstransporten orienteret mod Keldsand.

Hændelserne diskuteret ovenfor er samlet i to modeller, der ses på figur 6.4 og 6.5. Figur 6.4 viser hvordan systemet har udviklet sig ved påvirkning af naturfænomener. Figur 6.5 viser hvordan den samme udvikling i systemet kan være sket udelukkende ved påvirkning af menneskelige handlinger.



Figur 6.4: Konceptuel model over naturprocessers påvirkning af systemet



Figur 6.5: Konceptuel model over menneskelige handlingers påvirkning af systemet

## 7 Konklusion

Med dette projekt er foretaget en undersøgelse af tidevandskanalen Slagters Lo. Den laterale bevægelse af Slagters Lo er bestemt og udbredelsen af ålegræs- smat marskområder er kortlagt. Der er lavet en vurdering af marskens indvirkning på den laterale bevægelse af Slagters Lo. Endeligt er der opstillet en konceptuel model, der identificerer mulige sammenhænge mellem hændelser i perioden 1945-2012. Baseret på resultaterne opnået i dette projekt konkluderes følgende:

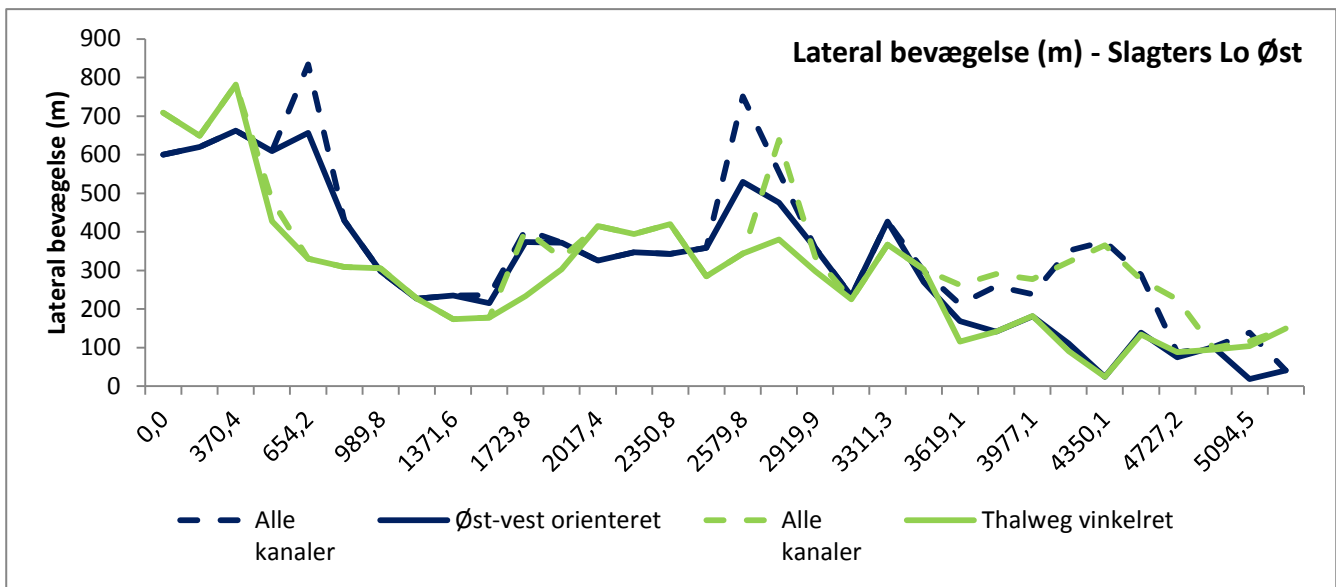
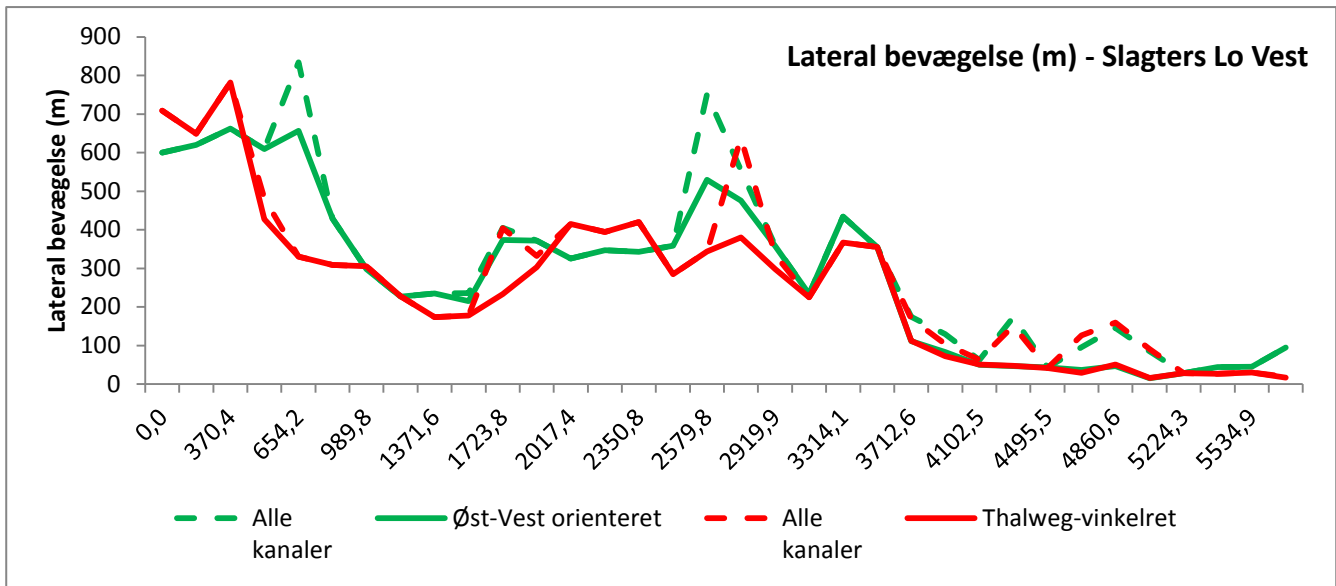
- I perioden 1945-2012 har Slagters Lo haft en meget vekslende placering. Der ses en forskel mellem forskellige dele af Slagters Lo samt en forskel mellem Slagters Lo Vest og Slagters Lo Øst. En undersøgelse af den laterale bevægelse over Slagters Lo viser den største bevægelse længst mod syd, hvor energiniveauet tilsvarende er størst. Her er en lateral bevægelse på 700 meter. Den mindste laterale bevægelse ses mod nord med en lateral bevægelse omkring 20 meter. Særligt gælder dette resultat for Slagters Lo Vest. Det viser sig samtidig, at Slagters Lo Vest kun er tydelig i 4 år af de i alt 18 undersøgte, hvorfor Slagters Lo Øst betragtes som mest dominerende kanal.
- I årene 1964-1968 observeres ålegræs i den nordvestlige del af lokaliteten. Dette når et areal på 14.725 m<sup>2</sup>, hvorefter det forsvinder fuldstændigt. I 1976 ses første gang vegetation i området ved Keldsand. Udbredelsen af dette fortsætter og i midten af 1990'erne nærmer udbredelsen af marsk sig Slagters Lo. I årene frem til 2012 fortsætter denne udbredelse og snævrer samtidig de laterale bevægelsesmuligheder for Slagters Lo til kun et par meter om året.
- Ved undersøgelse af det marskdækkede areal over tværsnit af Slagters Lo ses det, at Slagters Lo gennemgående er meget dynamisk og udviser stor lateral bevægelse i perioden frem mod marskens tilblivelse. Herefter ses en meget stabiliserende effekt idet den laterale bevægelse nu er skiftet fra en bevægelse på op mod 60 meter om året før marskpåvirkning til højst et par meter om året ved marskdominans. Denne tendens er særligt gældende i den sidste del af undersøgelsesperioden fra 2004-2012.
- En konceptuel model tydeliggør, at flere hændelser kan have haft indflydelse på ændrede tilstande observeret ved denne lokalitet. Ålegræssets forsvinden kan være forårsaget af isvintre, der kan have fastfrosset for store mængder sediment i sig og deraf ødelagt grobunden for ålegræsset. Desuden er foreslået, at det kan have holdt for stor en mængde sollys tilbage og således fjernet et centralt levevilkår. En ændring i klappingsstrategi fra Esbjerg Havn kan have øget mængden af suspenderet sediment i vandsøjlen, der kan have bidraget til opbygningen af Keldsand. Samtidig med disse enkelthændelser er der over hele perioden observeret en stigende tidevandsstørrelse samt en stigende vanddybde over tidevandsskellet mod nord. Herudover har der siden 1975 været en større koncentration af stormfloder i området og middelvinden er målt stigende. Den dominerende vindretning har ligeledes skiftet undervejs, hvilket har ændret retningen hvorfra energien i systemet er kommet fra.

## Referencer

- Aagaard, T. & Sørensen, P. (2013): *Sea Level rise and the sediment budget of an eroding barrier on the Danish North Sea coast*. Journal of Coastal Research, Special Issue No. 65, 2013.
- Aagaard, T., Andersen, T. J., Bartholdy, J., Christiansen, C., Lumborg, U., Nielsen, J., Nielsen, N., Pejrup, M., Vinther, N. (2011): *Vadehavets Geomorfologi*, Vadehavskollektivet.
- ArcGIS Ressource Center (2013): <http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#//009t00000019000000> – siden sidst besøgt den 21. maj 2014.
- Christiansen, C., Aagaard, T., Bartholdy, J., Christiansen, M., Nielsen, J., Nielsen, N., Pedersen, J. B. T., Vinther, N. (2004): *Total sediment budget of a transgressive barrier-spit, Skallingen, SW Denmark: A review*. Geografisk Tidsskrift. Danish Journal of Geography 104 (1): 107-126, 2004.
- Christiansen, C., Vølund, G., Lund-Hansen, L. C., Bartholdy, J. (2006): *Wind influence on tidal flat sediment dynamics: Field investigations in the Ho Bugt, Danish Wadden Sea*. Marine Geology 235 (2006) 75-86.
- Danmarks Naturfredningsforening (2014): <http://www.dn.dk/Default.aspx?ID=26131> – siden sidst besøgt den 20. maj 2014.
- Fanø Kommune og Sønderho Havn (2012): *Teknisk projektbeskrivelse: Oprensning af tilsandet rende ved Sønderho*.
- Gabet, E. J. (1998): *Lateral migration and Bank Erosion in a Saltmarsh Tidal Channel in San Francisco Bay, California*. Estuaries Vol. 21, No 4 Part B, December 1998.
- Garofalo, D. (1980): *The influence of Wetland Vegetation on Tidal Stream Channel Migration and Morphology*. Estuaries Vol. 3, No 4, December 1980.
- Holden, J. (2008): *An Introduction to Physical Geography and the Environment*. Pearson Prentice Hall. Second edition, 2008.
- Klagenberg, P. A., Knudsen, S. B., Sørensen, C., Sørensen, P. (2008): *Morfologisk udvikling i Vadehavet, Knudedybs tidevandsområde*.
- Mauz, B. & Bungenstock, F. (2007): *How to reconstruct trends of late Holocene relative sea level: A new approach using tidal flat clastic sediments and optical dating*. Marine Geology 237 (2007) 225-237.
- Mit Fanø (2014a): <http://www.mitfanoe.dk/index.php/da/fanos-historie/havne-og-besejlingsforhold/sonderho-havn/723-projekt-sonderho-havn> - siden sidst besøgt den 2. juni 2014.
- Mit Fanø (2014b): <http://www.mitfanoe.dk/index.php/da/fanos-historie/faergeriet-gennem-tiderne?start=15> siden sidst besøgt den 5. juni 2014.
- [www.pdf2jpg.com](http://www.pdf2jpg.com) – siden sidst besøgt den 21. maj 2014.
- Pinet, P. R. (2013): *Invitation to Oceanography*. Jones & Bartlett Learning. Sixth edition, 2013.
- Pestrong, R. (1965): *The development of drainage patterns on tidal marshes*. Stanford University Publications: Geological Sciences 10.

- Redfield, A. C. (1972): *Development of a New England Salt Marsh*. Ecological Monographs, Vol. 42, No. 2 (Spring, 1972), 201-237.
- Scankort (2014): <http://scankort.10.testsider.dk/index.php/page.166/Ortofoto.html> - siden sidst besøgt den 20. maj 2014.
- Siegismund, F. & Schrum, C. (2001): *Decadal changes in the wind forcing over the North Sea*. Climate Research, Vol. 18: 39-45, 2001.
- Stefanon, L., Carniello, L., D'Alpaos, A., Lanzoni, S. (2010): *Experimental analysis of tidal network growth and development*. Continental Shelf Research 30 (2010) 950-962.
- Sønderho Havn (2007): *Projektforslag til genetablering af Sønderho Havn*.
- Sønderho Havn (2014): <http://www.sonderhohavn.dk/dansk-forside/> - siden sidst besøgt den 2. juni 2014.
- Sørensen, P., Ingvarsdén, S. M., Vølund, G., Lisby, T., Kloster, B. B., Andersen, I., Jensen, L. B., Aarup, E. (2006a): *Morfologisk udvikling i Vadehavet*. Grådybs Tidevandsområde og Skallingen, 2006.
- Sørensen, T. H., Bartholdy, J., Christiansen, C., Pedersen, J. B. T. (2006b): *Intertidal surface type mapping in the Danish Wadden Sea*. Marine Geology 235 (2006).
- Vandenbruwaene, W., Meire, P., Temmerman, S. (2012): *Formation and evolution of a tidal channel network within a constructed tidal marsh*. Geomorphology 151-152 (2012).
- Walker, R. G. & James, N. P. (1992): *Facies Models, Response to Sea level change*. Geological Association of Canada. First edition, 1992.

## Bilag A: Undersøgelse af lateral bevægelsesrate



Ovenfor ses resultatet af en nærmere undersøgelse af forskellen ved den laterale bevægelsesrate når der måles over alle kanaler i forhold til når der kun måles ved de primære kanaler.

## Bilag B: RMS-værdier

Årstal	Kortsnit	RMS-værdi
1945	Syd	0,51
1945	Nord	3,06
1964	Syd	0,74
1964	Nord	0,67
1968	Syd	0,50
1968	Nord	1,19
1974	Syd	11,75
1974	Nord	0,43
1976	Syd	0,36
1976	Nord	0,58
1980	Syd	12,59
1980	Nord	1,03
1985	Syd	29,19
1985	Nord	1,87
1992	Syd	1,67
1992	Nord	3,84