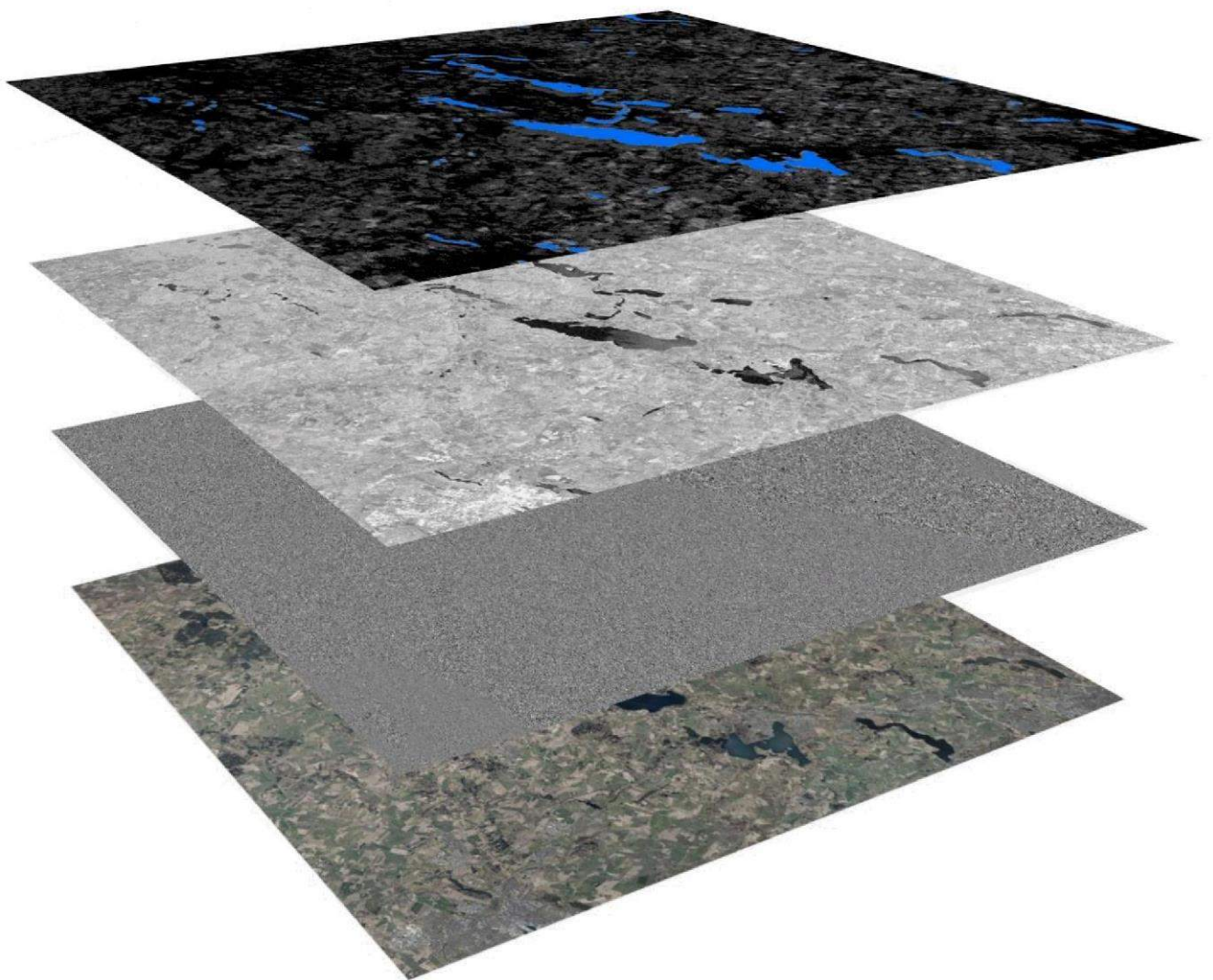


GEOGRAFISK OVERVÅGNING AF OVERSVØMMELSER VIA RADARSATELLIT:

UDVIKLING AF PRAKTISKE MONITORERINGSKONCEPTER



Kandidatspeciale i Geografi ved Aalborg Universitet:
Marc Ostermann Larsen og Rasmus Skole Jensen

Juni 2022



**AALBORG
UNIVERSITET**

**Kandidatspeciale (9. og 10. semester)
v/ BUILD - Institut for Byggeri, By og
Miljø, Aalborg Universitet**

Geografi MSc

Thomas Manns Vej 23

9220 Aalborg Øst

Titel:

Geografisk Overvågning af
Oversvømmelser via Radarsatellit:
Udvikling af Praktiske Monitorings-
koncepter

Projekt:

50 ECTS Specialeprojekt

Projektperiode:

September 2021 - Juni 2022

Deltagere:

Marc Ostermann Larsen
Rasmus Skole Jensen

Vejledere:

Hovedvejleder: Per Møldrup
Bivejleder: Ronni Fjordvald Søe

Sidetal: 154

Appendiks: 6

Afsluttet: 10. juni 2022

Abstract:

This project will examine ways of mapping floods from precipitation with radar satellites in the sizeable catchment area of Denmark's longest river: Gudenåen in the central part of Jutland. Pictures from radar satellites presents a number of advantages to other methods of monitoring floods, where an independence of weather and light from other sources are the main advantages. Floods are often a result of bad weather, and thus the extent of the floods can not be monitored with conventional monitoring methods in this scale. The report will be split up in three parts. The first part will give the reader needed knowledge of how radar works, and also how radar on a satellite works. The second part will introduce two monitoring concepts, which will include ways to determine the extent of a flooded area with a satisfactory accuracy. The first concept is the most simple and fastest of the two and will use different thresholds of when a cell in the satellite picture is water, and when it is not, to determine the flood extent. The second concept will try to remove areas in the flood maps, that the radar satellites wrongly estimates as water. These monitoring concepts will be validated with the method Confusion Matrix, which is a method commonly used for remote sensing data. In addition to this, another faster validation method will be used, to determine if this could be a way of getting results faster with similar accuracies. The third and last part will present which of the monitoring concepts best determines the flood extent and then if the faster validation method gives adequate results. It is found that the best total result from both monitoring concepts is mapping $\approx 47\%$ of the total flood extent with an accuracy of $\approx 80\%$, and that neither of the concepts are decidedly better than the other. Additionally it is found that the faster validation method is adequate to use, for the first monitoring concept but not the other. Lastly, ways to get higher accuracies for the second concept are discussed, which presents great opportunities for future development of the concept.

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

Forord

Denne rapport er et specialeprojekt, som afslutning på kandidaten Geografi på Aalborg Universitet og er udarbejdet af Marc Ostermann Larsen og Rasmus Skole Jensen i perioden september 2021 - juni 2022. Rapporten er et 50 ECTS specialeprojekt og tager udgangspunkt i at undersøge i hvor høj grad oversvømmelser kan monitoreres på oplandsskala med radarsatellitter.

Rapporten er opdelt i tre dele for at gøre læsningen af rapporten overskuelig. Hver del indeholder 2-3 kapitler og deres tilhørende underafsnit. For hver del er der udarbejdet et læsevejledningsdiagram, som yderligere skal hjælpe med at give overblik for læseren. Første del giver baggrundsviden for radar og radarsatellitter. Anden del introducerer de udviklede monitoreringskoncepter til kortlægning af oversvømmelser, samt de to valideringsmetoder der anvendes i projektet. Den sidste del præsenterer resultaterne fra koncepterne, og derfra konkluderes der på hvilket koncept, der bedst estimerer udbredelsen af den undersøgte oversvømmelseshændelse. Herudover er fokus i projektet at disse koncepter skal kunne anvendes af en interesseret tredjepart, hvor en bruger i en kommune bruges som eksempel her. Derfor afsluttes del 3 med en diskussion af hvorledes de udviklede koncepter kan anvendes i en kommune.

Der skal lyde en stort tak til professor og hovedvejleder Per Møldrup og bivejleder Ronni Fjordvald Søe, for deres konstruktive feedback og gode diskussioner. Tak for jeres fantastiske arbejde som vejledere igennem hele projektforslaget. Yderligere skal der lyde en tak til Ronni for projektforslaget og for levering af overflyvningsbilleder over oversvømmelseshændelsen d. 27-28 februar 2020, der anvendes til validering af monitoreringskoncepterne i rapporten.

Indholdsfortegnelse

	Side
Kapitel 1 Introduktion	1
1.1 Oversvømmelseshændelsen i februar 2020	1
1.2 Hvad er en oversvømmelse?	2
1.2.1 Hvordan håndteres oversvømmelser?	3
1.3 Hvordan overvåges oversvømmelser i forskellig skala?	4
1.3.1 Manglen på billig overvågning i regional- og global skala	5
1.4 Satellitter fra Den Europæiske Rumorganisation	5
1.5 Problemformulering	8
1.5.1 Projektafgrænsning	8
 <i>Del 1: Baggrundviden om radar og radarsatellitter</i>	 11
Kapitel 2 Hvad er radar?	13
2.1 Hvilke radartyper findes der?	13
2.2 Hvordan fungerer en radar?	15
2.2.1 Bølgelængde og radarbånd	16
2.2.2 Geometriske parametre	17
2.2.3 Backscatter	19
2.2.4 Polarisering	22
2.3 Hvad kan en radar se?	23
 Kapitel 3 Radarsatellit som værktøj til overvågning af oversvømmelser	 27
3.1 Eksempel på radarsatellitdata	27
3.2 Backscatter for radarsatellitter	28
3.3 Visuelle forstyrrelser som resultat af bursts og swaths	29
3.4 Topografisk forvrængning: Slant afstanden	30
3.5 Valg af polarisering i forhold til oversvømmelser	31
3.6 Fremgangsmåden til at danne et analyserbart satellitbillede	32
 <i>Opsummering af Del 1</i>	 35
 <i>Del 2: Monitoreringskoncepterne og valideringsmetoderne</i>	 37
 Kapitel 4 Thresholding	 39
4.1 Forklaring af konceptet	39
4.2 "Flood Detection"	40
4.3 Thresholding	44
4.3.1 Manuel Thresholding	44
4.3.2 Automatisk thresholding	45
 Kapitel 5 Change Detection	 47

5.1	Forklaring af konceptet	47
5.2	"Flood Detection"	49
5.3	Beregning af frekvenslag	49
5.4	Fratrækning af fejlområder	50
5.4.1	Fejlområde-eksempler fra felttur	51
Kapitel 6 Validering af monitoreringskoncepterne		55
6.1	Udarbejdelse af materiale til valideringsmetoderne	56
6.1.1	Forskel i cellestørrelse på producerede kort og givne luftfotos	58
6.2	Valideringsmetode 1: Confusion matrix	58
6.2.1	Anvendelse af metoden	62
6.3	Valideringsmetode 2: Overlapanalyse	63
6.3.1	Anvendelse af metoden	64
<i>Opsummering af Del 2</i>		67
<i>Del 3: Anvendelse og validering af monitoreringskoncepterne</i>		69
Kapitel 7 Hvilket monitoreringskoncept er bedst?		71
7.1	Anvendt data til koncepterne	71
7.1.1	Thresholding	71
7.1.2	Change Detection	71
7.2	Præsentation af resultater fra Confusion Matrix	73
7.2.1	Thresholding	73
7.2.2	Change Detection	84
7.3	Sammenligning af monitoreringskoncepterne	88
Kapitel 8 Kan Overlapanalysen erstatte Confusion Matrix?		91
8.1	Præsentation af resultater fra Overlapanalysen	91
8.1.1	Thresholding	91
8.1.2	Change Detection	94
8.2	Sammenligning af valideringsmetoderne	95
Kapitel 9 Hvordan kan en bruger anvende koncepterne?		99
9.1	Monitoreringskoncepterne som redskab til kortlægning af oversvømmelser	99
9.2	Hvordan skal en bruger i en kommune anvende koncepterne?	101
Kapitel 10 Konklusion		103
10.1	Perspektivering og videre studier	104
Litteraturliste		105
	Primær litteratur	105
	Sekundær litteratur	107
Appendiks A - Supplerende teoretisk viden		111
A1	Synthetic Aperture Radar	111
A2	Atmosfæriske forstyrrelser	112
A3	Foreshortening, Layover og Shadows	113

A4	SNAP Desktop værktøjer	115
Appendiks B	- "Flood detection" billedserie	117
Appendiks C	- Python kode	121
Appendiks D	- Hentning af data fra ESA	135
Appendiks E	- Færdige oversvømmelseskort	139
E1	Oversvømmelseskort fra Threshold-konceptet	139
E2	Oversvømmelseskort fra Change Detection-konceptet	149
Appendiks F	- Strukturdiagram med anden opdeling	153

1.1 Oversvømmelseshændelsen i februar 2020

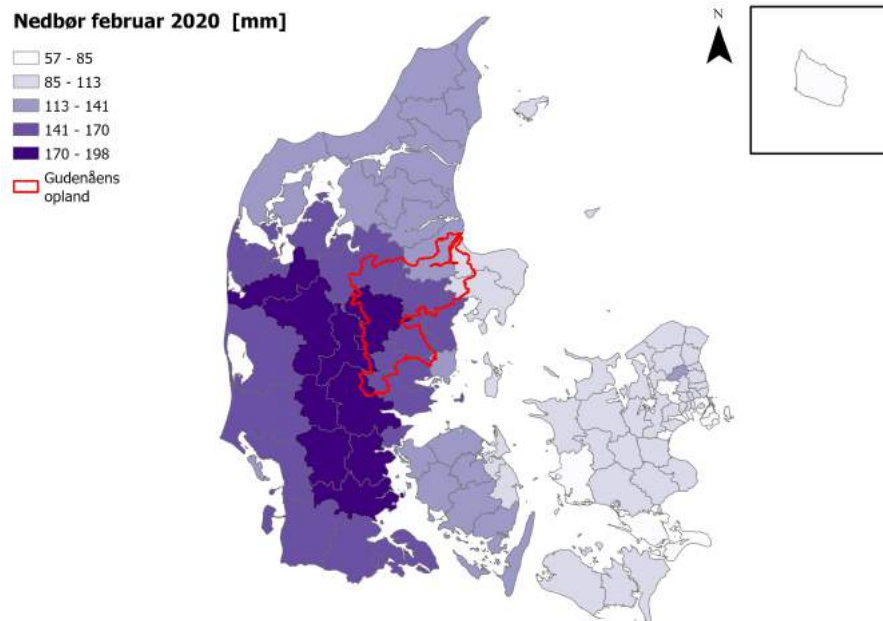
Februar 2020 var en særdeles våd og regnfuld måned, hvor byer og opland omkring Gudenåen led under de massive vandmængder. Åer og vandløb kunne ikke indeholde alt vandet fra den konstante nedbør og til sidst flød de over. Hændelsen blev estimeret til at være en 100-årshændelse af Silkeborg Kommune, hvor der ved slusen i Silkeborg blev målt helt op til 56.000 liter vand i sekundet. I Silkeborg Kommune bliver en 100-årshændelse defineret ved minimum 47.000 liter vand i sekundet gennem slusen. Flere veje blev lukket på grund af vandmasserne, og der blev udleveret mere end 14.000 sandsække til befolkningen, så der var mulighed for at redde deres ejendele [Poulsen, 2020]. En gade i Silkeborg oplevede, at kloaksystemet var under så stort pres, at de ikke kunne benytte deres egne toiletter og derfor stillede kommunen toiletter til rådighed [Nielsen, 2020]. Svostrup Kro, nordøst for Silkeborg, oplevede en katastrofal februar, da store dele af grunden og kældereren tog skade under oversvømmelserne. Svostrup Kro kan ses på det øverste billede på figur 1.1, hvor store dele af grunden er fyldt med vand fra Gudenåen. De kæmpede en forgæves kamp med at holde vinkælderen fri for vand, selvom der blev brugt tre pumper [Hansen, 2020]. Det var dog ikke kun Østjylland og Gudenåen der blev ramt af de store mængder nedbør. Regnen nåede også til Fyn, hvor Odense oplevede oversvømmelser, hvilket kan ses på det nederste billede på figur 1.1. Her gik Odense Å over dens bredder, og besværliggjorde bevægeligheden igennem Odenses stisystemer [Andersen, 2020].



Figur 1.1. Oversvømmelseshændelser ved Svostrup Kro øverst og stisystem ved Odense Zoo nederst [Midtjyllandsavis, 2022; Andersen, 2020]

At det gik så galt, som det gjorde, kan tydeligt ses i de mængder nedbør der faldt i februar 2020. På figur 1.2 er det vist, hvor der faldt mest nedbør opdelt i kommuner. På figuren er Gudenåens opland på 3.257 km² også vist, som på baggrund af dets størrelse viser *hvorfor* kommunerne omkring den har haft problemer med oversvømmelser [Miljøstyrelsen, u.d.(a)].

Det er tydeligt at se, at midten af Jylland blev hårdt ramt og det viser også hvor stor en skala der er tale om ved denne oversvømmelseshændelse.



Figur 1.2. Nedbør i februar 2020 målt i mm. Gudenåens opland er markeret med rød. Data fra DMI's Vejrarkiv, u.d. og Miljøstyrelsen, u.d.[a]. En mørkere blå viser højt nedbør.

1.2 Hvad er en oversvømmelse?

I Danmark er oversvømmelser defineret i oversvømmelsesdirektivet, som er udarbejdet af EU og implementeret i den danske oversvømmelseslov, der fastlægger retningslinjerne for vurdering og styring af oversvømmelsesrisikoen [Retsinformation, 2017]. Den overordnede oversvømmelsesdefinition lyder således:

"En midlertidig vanddækning med vand fra vandløb og søer af arealer, der normalt ikke er dækket af vand."

[Retsinformation, 2017]

Denne definition indbefatter oversvømmelser fra havet og vandløb. Yderligere kan oversvømmelser fra spildevandssystemer udelukkes med denne definition, da spildevandsoversvømmelser håndteres af kommunerne og ikke på landsplan [Andersen et al., 2020]. Af EU bliver oversvømmelser kategoriseret ud fra følgende kriterier fra Andersen et al., 2020:

- Oversvømmelsens kilde
- Geografisk udstrækning af det oversvømmede område
- Årsag til oversvømmelsen
- Oversvømmelsens hastighed

I Danmark er stormfloder og nedbør de største syndere af oversvømmelser. Stormfloder opstår i forbindelse med en storm, hvor kraftig vind presser vand ind fra havet og øger vandstanden. Herefter vil havvandet gå over sine breder og skabe oversvømmelser. En

anden årsag, der skaber oversvømmelser er nedbør, som var årsagen til oversvømmelsen i februar 2020. Disse opstår når der kommer så meget nedbør, at kloaksystemer og jordens hydrauliske ledningsevne (mål for hvor hurtigt vand siver gennem) ikke kan fjerne vandet hurtigt nok, og der derfor ligger vand oven på jorden eller i folks kældre. [Miljøstyrelsen, u.d.(b)] Oversvømmelser kan kategoriseres ud fra hvor voldsom hændelsen er, og disse kategorier kaldes 10-, 20-, 50, og 100-årshændelser. Disse hændelser er en statistisk udregning for hvor ofte sådan en hændelse vil ske, hvor en 100-årshændelse statistisk sker én gang hvert 100 år. For stormfloder bliver hændelser målt i højde, og nedbør måles i mængde nedbør. [Pedersen et al., 2021]

1.2.1 Hvordan håndteres oversvømmelser?

Der er forskellige måder at håndtere en oversvømmelse på; før, under og efter. Før en oversvømmelse er det muligt at forebygge nogle af de negative konsekvenser, som kan forekomme. Dette kan ske ved at kommunen og/eller private udfører en række tiltag. For de private kan det være sikring af kælder, ejendom, privat kloak og private ejendele med anskaffelsen af vandpumper og sandsække, som skal hjælpe med at holde vandet væk. For kommunen er det ansvaret for beredskab, infrastrukturen, offentlige kloakker og vandløb. Dette indebærer eksempelvis at sørge for, at kloakkerne kan lede vandet væk, og ved vandløb, at der er fri vandpassage, så de kan klare de kommende mængder nedbør [Miljøstyrelsen, u.d.(b); Silkeborg Kommune, 2021]. Desuden overvåger kommuner vandstanden i vandløb ved at bruge målestationer og monitorere de nedbørshændelser, som forekommer [Silkeborg Kommune, 2021].

Efter en oversvømmelse er der positive og negative konsekvenser, hvor især de negative konsekvenser kommer i fokus efterfølgende. Nogle af de positive konsekvenser kan for eksempel være en øget indtjening for nogle dele af erhvervslivet, da der kræves en genopbygning af ødelæggelserne, samt forbedrede levevilkår for fugle. Listen med de negative konsekvenser er længere og dækker over; bygningsskader, infrastrukturen, skader på afgrøder, tab af husdyrsbesætning, skader på kulturarv, berørte indbyggere m.fl. Tabet af afgrøder kan for eksempel forekomme ved kraftigt nedbør hvor vandløb og åer flyder over og de lavtliggende marker dækkes af vand [Miljøstyrelsen, u.d.(b)].

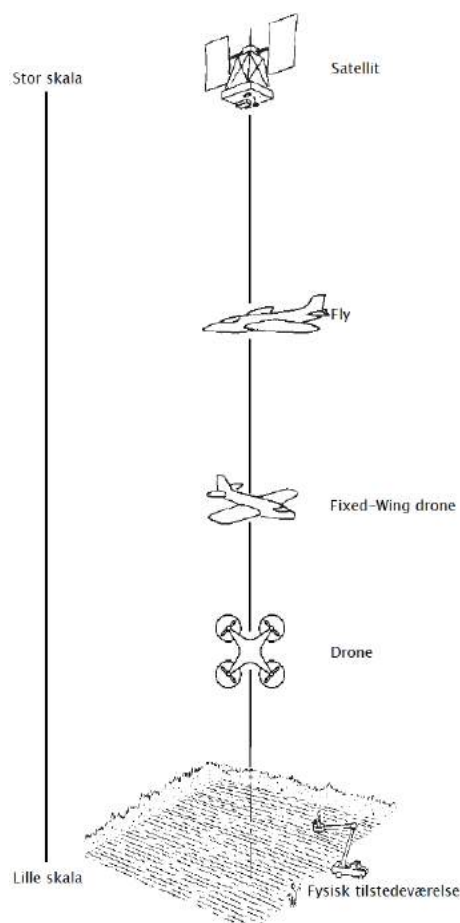
Kommuner arbejder med hvad der kaldes for oversvømmelsesrisiko. Dette dækker over, at der bliver kigget på områder, der har potentiale for at blive oversvømmet, samt værdien af bygninger og lignende. Oversvømmelsesrisikoen beregnes ved at se på sandsynligheden for oversvømmelse og de potentielle negative følger på værdier, der kan forekomme. Dette står nævnt i definitionen af oversvømmelsesrisiko, der lyder således:

"Kombinationen af sandsynligheden for oversvømmelse og de potentielle negative følger for menneskers sundhed, miljø, kulturarv og økonomiske aktiviteter, der er forbundet med oversvømmelser."

[Kystdirektoratet, 2016]

1.3 Hvordan overvåges oversvømmelser i forskellig skala?

I forbindelse med oversvømmelser er der ofte en interesse i at overvåge udbredelsen af dem for at estimere eventuelle skader. På figur 1.3 ses forskellige metoder til netop dette i forskellig skala. På helt lille skala findes fysisk tilstedeværelse, som giver et præcist billede af en oversvømmelse, men meget lokalt. En anden type af fysisk tilstedeværelse kan være punktmålinger, hvor der installeres målestationer langs vandløb, som giver data for hvornår vandet går over vandløbets bredde. På denne måde kan der gives varslinger for oversvømmelser inden de forekommer,



Figur 1.3. Illustration af overvågningsmetoder der anvendes i dag i forskellig skala, redigereret billede fra Lillesand et al., 2015, s. 51.

men selve udbredelsen af oversvømmelserne vides ikke. [Miljø- og Fødevarerministeriet, 2016] De næste overvågningsmetoder er inden for typen *remote sensing*, som omhandler at generere data og informationer om et objekt eller et område på afstand, hvor der ikke er fysisk kontakt med det overvågede [Lillesand et al., 2015, kap. 1]. Den første remote sensing-metode er droner, som både kan være en "almindelig" drone med fire rotor, eller en *fixed-wing drone*, hvor sidstnævnte er en drone designet som et miniature fly [Wingtra, u.d.]. Droner kan anvendes til at tage billeder af de oversvømmelsesramte områder, for derved at kortlægge udbredelsen. Droner er også en lokal overvågningsmetode, men kan dække et større areal end fysisk tilstedeværelse afhængigt af den enkelte drones og dronetypes flyvetid, dog er droner vejrafhængige, da droner ikke kan flyve i regnvejr og kraftig vind. [Restas, 2018; Addo et al., 2018; Suroso, 2019] Til sidst findes fly og satellitter som overvågningsmetoder. Fly er i en regional skala, eftersom det kan dække større arealer på kortere tid i forhold til droner, da det indsamler data fra en større højde, og samtidig kan operere i længere tid. Dette

afhænger dog af omkostninger og krav til opløsningen af billederne. Fly er ligesom droner vejrafhængige, hvor lavthængende skyer kan resultere i, at det ikke er muligt at tage billeder ved en overflyvning [Lillesand et al., 2015, kap. 2+3]. Et eksempel på hvad en overflyvning med fly kan producere kan ses på figur 1.4. Denne overflyvning var et samarbejde mellem Skanderborg-, Silkeborg- og Horsens Kommune. Planen med overflyvningen var at kortlægge oversvømmelseshændelsen fra februar 2020 omkring Gudenåen. Overflyvningsområdet dækker $\approx 157 \text{ km}^2$, hvilket ikke er et stort areal når Region Sydjylland og Region Midtjylland, som var de regioner der led mest under oversvømmelsen, dækker $\approx 25.000 \text{ km}^2$ [SDFI, u.d.(a)]. Satellit er i global skala, da der kan produceres data for hele jord-

overfladen. Desuden kan satellitter give en kontinuerlig produktion af data, da de konstant flyver rundt om jorden [ESA, u.d.(f)].

1.3.1 Manglen på billig overvågning i regional- og global skala

At der er en mangel på overvågning af oversvømmelser på stor skala er bevist ved, at Skanderborg-, Silkeborg- og Horsens Kommune selv skulle bestille en overflyvning af oversvømmelseshændelsen i februar 2020. Fra en mailkorrespondance med SDFI vides det, at prisen for en overflyvning med fly af hele Danmark i 2020 kostede 3.944.227,87 kr., hvilket betyder en pris på 91,87 kr. per km^2 (grov estimering), hvorefter ekstra omkostninger forekommer på baggrund af bearbejdningen af billederne [Nielsen og SDFI, 2022]. Eksempelvis ville den viste overflyvning af hændelsen i februar 2020 koste 14.423,59 kr. for selve overflyvningen (hvis det antages at samme firma anvendes), hvor faktorer som den større opløsning af billederne og igen bearbejdningen af billederne ikke er talt med. Dette kan hurtigt blive mange penge for enkelte kommuner at bruge ved oversvømmelseshændelser, specielt når hændelserne kan forekomme flere gange på ét år, og endnu oftere i fremtidens klima. Én løsning på denne problematik er at anvende satellitbilleder fra Den Europæiske Rumorganisation, ESA, som udgiver gratis tilgængelige satellitbilleder til alle interesserede. Allerede der kan der spares en betydelig omkostning, da det således kun vil være bearbejdningen af billederne, som vil give omkostninger for kommunerne. Hertil kan bearbejdningsprocessen også automatiseres til en vis grad og nøjagtighed, og derved give satellitter en klar fordel frem for at bestille en overflyvning med fly. På baggrund af dette vil næste afsnit omhandle ESA's to forskellige typer satellitbilleder; billeder fra optiske satellitter og billeder fra radarsatellitter.



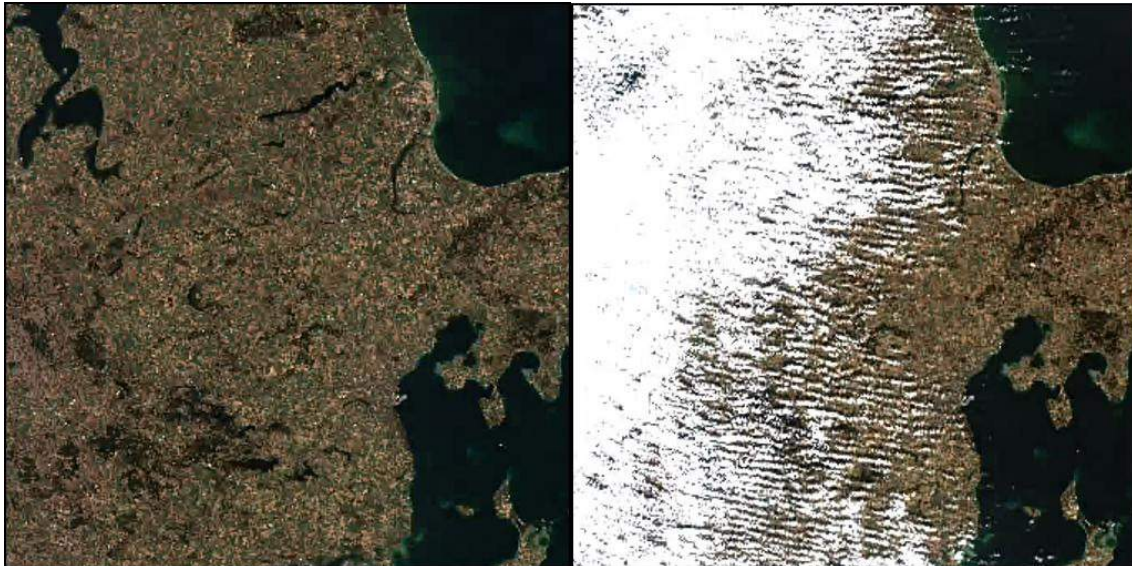
Figur 1.4. Overflyvningsbilleder af oversvømmelseshændelsen februar 2020 over Gudenaåen. Givet af vejleder Ronni Fjordvald Søb fra Skanderborg Kommune.

1.4 Satellitter fra Den Europæiske Rumorganisation

Når det ønskes at kortlægge oversvømmelser i stor skala kan satellitter med fordel anvendes, da de kan give data på regional og global skala på baggrund af deres store afstand fra rummet. Satellitter findes, som nævnt, både som optiske satellitter og radarsatellitter, der begge kan anvendes til kortlægning af oversvømmelser med hver deres fordele og ulemper. De vigtigste forskelle på optiske satellitter og radarsatellitter er, at optiske satellitter kræver

lys fra en anden kilde (solen), samt så skyfri himmel som muligt, da den ikke kan se igennem skyerne [Lillesand et al., 2015, kap. 1]. Radarsatellitter er ikke afhængig af disse forhold, da de både sender og modtager lys, og derfor er uafhængig af solen, og samtidig kan dette lys gennemtrænge skyer og andre vejrforhold såsom nedbør [Lillesand et al., 2015, kap. 6].

På trods af de nævnte ulemper for optiske satellitter, vil de stadig kunne anvendes med fordel til at kortlægge oversvømmelser. Dette er muligt, da optiske billeder er nemmere at fortolke frem for radarbilleder, da optiske billeder viser områderne som de ser ud (med undtagelser, da optisk rådata fra satellitter også skal bearbejdes til en vis grad) [Lillesand et al., 2015, kap. 1]. På figur 1.5 findes to eksempler på billeder fra Sentinel 2, som er en optisk satellit fra ESA, hvor den største ulempe for optiske satellitter ses; skyer. En eventuel oversvømmelseshændelse skal altså være på en skyfri dag og være i dagstimerne, før optiske billeder kan anvendes til kortlægning. Dette kan være problematisk hvis oversvømmelseshændelsens maksimale udbredelse er til stede, hvor de to nævnte forhold ikke er.

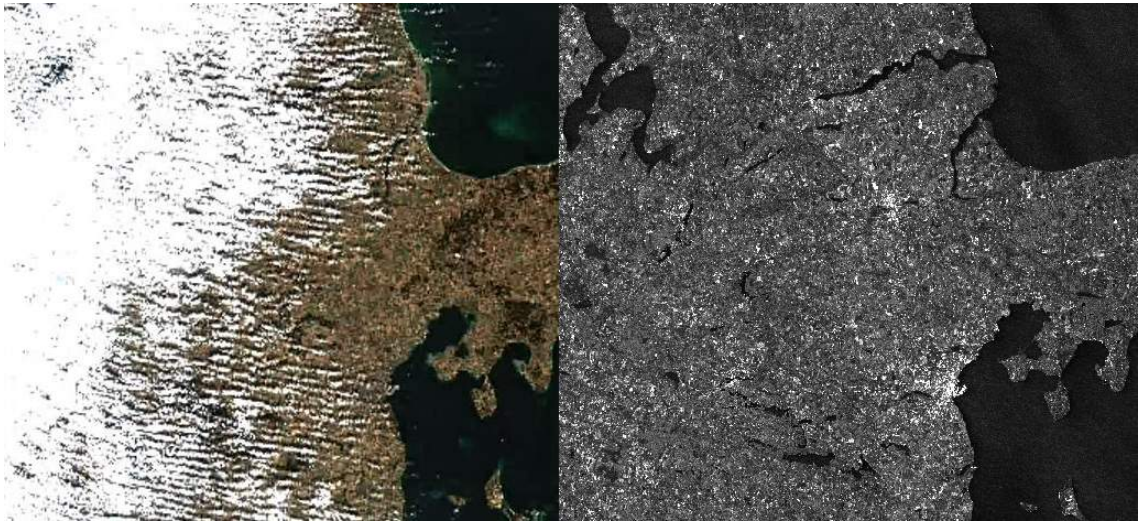


Figur 1.5. To Sentinel 2 optiske satellitbilleder over den østlige del af Midtjylland fra henholdsvis den 17-04-2022 og den 28-04-2022 fra ESA, u.d.[b].

I Danmark følges oversvømmelser, både for stormfloder og nedbør, ofte af skyer, og derfor kan det være problematisk med anvendelse af optiske satellitbilleder på stor skala til estimering af ramte områder. Derfor er potentialet for radarsatellitter til kortlægning af oversvømmelser på stor skala større.

På figur 1.6 ses forskellen på et optisk billede og et radarbillede, hvor radarbilledet er fra én af ESA's Sentinel 1 satellitter; Sentinel 1A og 1B, som er identiske. Satellitbillederne er ikke fra samme dato, da Sentinel 1 og Sentinel 2 satellitterne ikke har samme flyve-bane rundt om jorden. Denne bane kaldes relative orbit number, og vil refereres til som orbit fremover. Sentinel 1 har 175 forskellige orbit og Sentinel 2 har 143 forskellige orbit for hele jorden [ESA, u.d.(b)]. Eftersom satellitterne ikke har de samme orbit kan billederne ikke helt sammenlignes, men hvis det var muligt, ville radarbilledet stadig vise nogenlunde det

samme, da den netop kan "se" igennem skyerne.



Figur 1.6. Forskellen på det optiske satellitbillede med skyer fra tidligere (venstre) og et radarsatellitbillede (højre), billederne er fra henholdsvis d. 28-04-2022 og 31-03-2022 fra ESA, u.d.[b].

Ud fra radarbilledet ses det, at vandet umiddelbart er tydeligt at differentiere fra andre områder. Dette lagt sammen med, at radar kan "se" igennem skyer og andre vejrforstyrrelser, giver gode muligheder for at kortlægge oversvømmelser i Danmark uafhængigt af vejret med radarsatellitter.

1.5 Problemformulering

I de ovenstående afsnit blev det klargjort hvorledes en problemstilling omkring manglende kortlægninger for oversvømmelser på stor skala, gør sig gældende. Samtidig blev det belyst, at kortlægninger fra radarsatellitter kan være en løsning på denne problematik, og derfor vil projektet tage udgangspunkt i at anvende radarsatellitbilleder. Hertil vil fokus være at producere en løsning, der giver en acceptabel nøjagtighed af kortlægningerne, der vil betyde at løsningen derefter vil kunne anvendes i diverse beslutningsprocesser, eksempelvis i kommuner, i forhold til at estimere eventuelle skader ved oversvømmelser.

Problemformuleringen formuleres på baggrund af oversvømmelseshændelsen fra februar 2020, og omkring manglen på regional- og global skala data omhandlende hændelsen. Yderligere bygger problemformuleringen på nysgerrigheden omkring radarsatellitter og hvordan de kan være med til at udvikle monitoreringskoncepter til en geografisk overvågning af en oversvømmelseshændelse. Problemformuleringen lyder:

I hvor høj grad kan radarsatellitbilleder anvendes til kortlægning af oversvømmelseshændelser på oplandsskala?

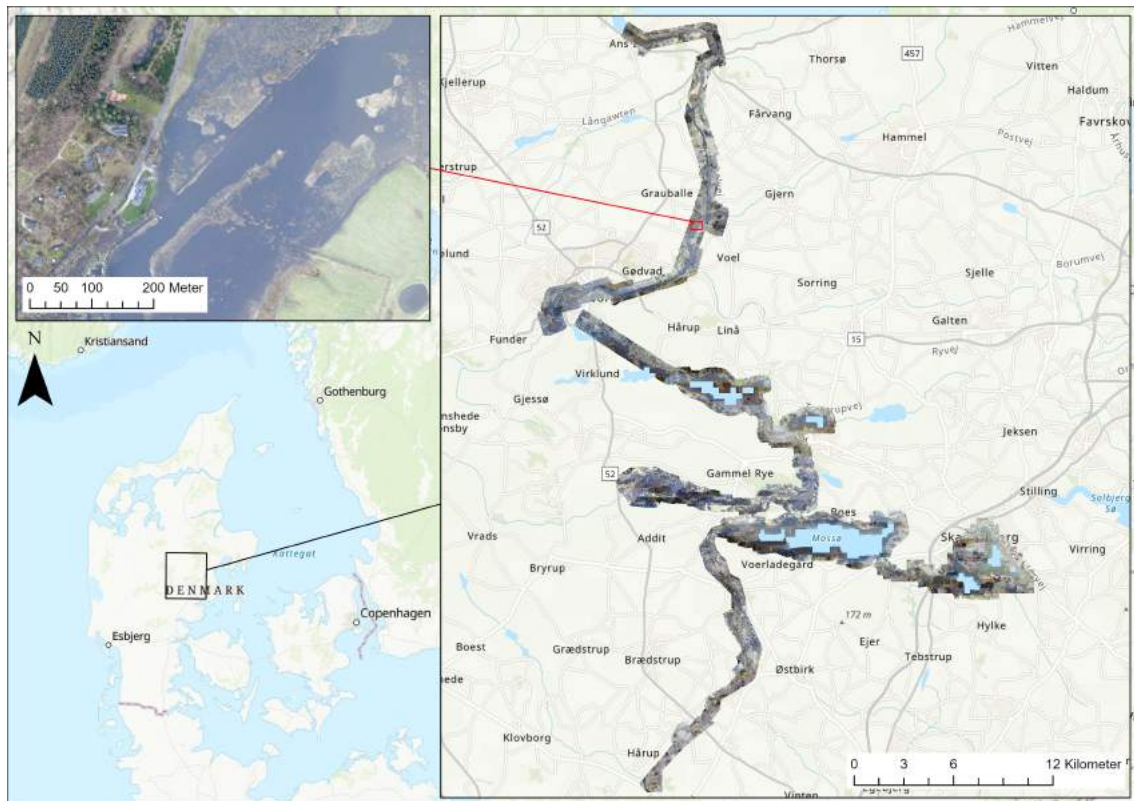
Til at besvare problemformuleringen vil der blive udarbejdet to forskellige monitoreringskoncepter, hvor den første fokuserer på at producere et hurtigt, men mindre præcist oversvømmelseskort. Det andet koncept fokuserer på at reducere mængden af fejlestimeringer, der kan vise sig på kortlægninger fra radarsatellitter. Disse fejl opstår, da radarsatellitter ikke "ser" virkeligheden, ligesom optiske satellitter eksempelvis gør, og derfor skal radarsatellitbilleder fortolkes i højere grad.

Det første koncept kaldes *Thresholding*, og indikerer, at der produceres oversvømmelseskort med forskellige grænseværdier for at finde den bedste grænseværdi. Senere i kapitel 3 vil det beskrives hvordan det der ses på radarbilleder, sker som resultat af hvordan et område sender radarsignaler tilbage til radaren, samt at bestemte typer af områder sender få signaler tilbage og derfor ses som mørke på radarbilleder. Dette er grundlaget for, at billeder gives en grænseværdi for at adskille vand og land, for derved at finde oversvømmelser.

Det andet koncept kaldes *Change Detection*, og indikerer, at der bruges flere satellitbilleder, en tidsserie, til at finde en ændring imellem dem. Denne ændring bruges til at finde ud af hvilke områder der for satellitten *ligner* vand i tidsserien af satellitbilleder, men egentlig ikke er det, for derved at producere hvad projektgruppen kalder et fejlområde-kortlag. Dette lag skal derefter bruges til at fjerne områder satellitten fejlklassificerer i satellitbillederne for oversvømmelseshændelsen.

1.5.1 Projektafgrænsning

Projektområdet afgrænses til overflyvningen, som ses på figur 1.7. Denne overflyvning er af oversvømmelseshændelsen d. 27-28 februar 2020 ved Gudenåen omkring Skanderborg-, Silkeborg- og Horsens Kommune. Formålet med disse luftfotos er at validere de producerede oversvømmelseskort fra satellitbillederne senere i projektet. Yderligere ses der på figur 1.7 et zoom af et mindre område, for at vise graden af oversvømmelse, samt vise, at de givne luftfotos er af høj opløsning af 7x7 cm.



Figur 1.7. Oversigt over projektområde ved Gudenåen i Midtjylland med de givne luftfotos af oversvømmelseshændelsen d. 27-28. februar 2020.

Radarsatellitterne der anvendes vil være fra Det Europæiske Rumorganisation, ESA, som anvendes, da de producerer gratis tilgængeligt og kontinuerlig data året rundt.

Data til Thresholding-konceptet kommer fra tre forskellige dage ved den undersøgte oversvømmelseshændelse; d. 27, 28 og 29 februar 2020. Dette kan have en indflydelse på resultatet, men det er ikke muligt for projektgruppen at undersøge denne indflydelse, så det vil der ses bort fra i analysen. Desuden er de givne luftfotos lavet over to dage, d. 27 og 28, og derfor kan der også være en indflydelse på resultatet på baggrund af dette, som heller ikke vil blive taget højde for.

Data anvendt til tidsserien i Change Detection-konceptet vil begrænses til ét års data for at reducere det tidsmæssige forbrug i bearbejdningsprocesserne. Anvendelsen af monitoreringskoncepterne vil blive baseret på satelliternes orbit, da der gennem undersøgelse og test af koncepterne, blev fundet frem til en betydelig forskel i resultaterne mellem de forskellige orbit. Denne forskel ses, da der er en ændring i det der kaldes incident vinklen, som vil blive beskrevet i kapitel 2. For to af de tre anvendelige orbit for projektområdet, blev de indledende resultater en fordobling af estimeret vandareal i forhold til den sidste af dem. Derfor vælges det, at der i analysen vil anvendes data fra disse orbit for at undersøge om hvorvidt én af de tre orbit er bedst at anvende til at kortlægge oversvømmelser. Der er tale om orbit 44, 66 og 139, og er nummereringer ESA selv anvender. Disse tre orbit rammer hele projektområdet.

Inspirationen til at anvende fejlområde-kortlag til præcisering af oversvømmelser kommer

fra Martinis, 2017, hvori klassen 70-100% fandtes frem til at give det bedste resultat for området deri. Hvor klassen dækker over en procentdel af året, hvori områder i satellitbilleder klassificeres som oversvømmet, så klassen 70-100% viser områder der er oversvømmet 70-100% af tidsserien. Eftersom projektområdet er i et andet klima, samt at kilden forsøgte at fjerne sandområder, og her forsøges det at fjerne alle slags fejlområder, vil der anvendes tre klasser; 60-100%, 70-100% og 80-100% for at vurdere om det samme resultat opnås, eller om en anden klasse er bedre at anvende i Danmark. Grundet den store datamængde vælges der ikke mere end tre klasser, og der vælges desuden kun at køre dette koncept for én grænseværdi, for yderligere at begrænse datamængden.

Til behandling af radarsatellitbilleder er programmet SNAP Desktop blevet brugt. SNAP Desktop er ESA's egen databehandlingsprogram til satellitbilleder, både for optiske billeder og radarbilleder. Kendskab til dette program er blevet fundet gennem ESA's eget kursus *Echoes in Space*, som er et kursus der introducerer teorien bag radarsatellitter, og giver en bred baggrundsviden inden for hvordan data bearbejdes og fortolkes. Kurset indeholder fem forskellige emner der tager deltageren igennem baggrundsviden for emner som bølgeteori og udviklingen af radar gennem historien, samt hvordan der kan kortlægges naturkatastrofer, herunder oversvømmelser, med både Sentinel 1 og Sentinel 2 billeder. Kurset har givet gruppen nødvendig viden til at kunne udføre den senere analyse, samt givet forståelse for hvad ændringer i parametre i bearbejdningsprocessen kan gøre.

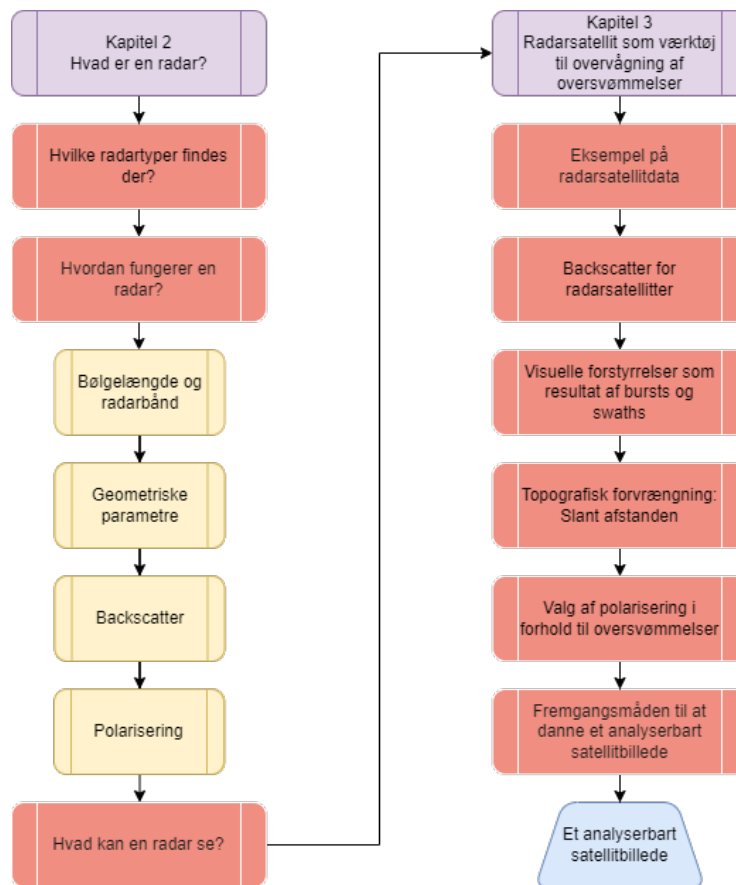
Til validering og visualisering af monitoreringskoncepterne er GIS-programmet ArcGIS Pro blevet anvendt, og de senere nævnte værktøjer i projektet kommer derfra. Der vil blive anvendt to valideringsmetoder i projektet, hvor den ene, *Confusion Matrix*, er den mest præcise og anvendes derfor som den "rigtige" validering. Denne metode tager dog længere tid og mere computerkraft end den anden valideringsmetode. Den anden valideringsmetode er det projektgruppen kalder en *Overlapanalyse*, som er en hurtigere valideringsmetode, men forventes også at være mindre præcis. Grunden til, at der vælges to valideringsmetoder, selvom det vides, at den ene er bedre, er at give mulighed for at hele arbejdsprocessen formindskes. Dette gøres, da det antages, at en hurtigere proces er at foretrække i de fleste tilfælde.

Del 1: Baggrundsviden om radar og radarsatellitter

Denne del af rapporten vil bestå af to kapitler. Det første kapitel, *Hvad er radar?*, vil give eksempler på radartyper, der findes i dag, samt en beskrivelse af deres funktion. Yderligere vil der være en gennemgang af hvordan en radar fungerer for at danne baggrundsviden før næste kapitel. Denne gennemgang vil bestå af en forklaring af de vigtigste begreber inden for radar-teknologien, og det vil være muligt at vende tilbage til dette kapitel, når nogle af begreberne bliver anvendt senere i analysen til at forklare resultaterne, hvis deres betydning er glemt.

Det andet kapitel, *Radarsatellit som værktøj til overvågning af oversvømmelser*, vil indeholde en beskrivelse af radarsatellitbilleder. Denne beskrivelse vil gives ud fra et eksempel på rådata fra en radarsatellit, hvor de mest tydelige "effekter" på billedet vil forklares. Denne forklaring vil belyse *hvorfor* effekterne ses på radarbilledet. I kapitlet vil der også forekomme en beskrivelse af hvordan denne rådata bearbejdes frem til et analyserbart billede, der kan anvendes til de to monitoreringskoncepter.

På figur 1.8 ses et læsevejledningsdiagram over del 1, hvor de forskellige dele af del 1 er illustreret for at give et overblik over strukturen heri. Den lilla farve viser starten på hvert kapitel, den røde farve indikerer de større afsnit, den gule farve viser underafsnit og den blå farve indikerer resultatet af del 1.



Figur 1.8. Læsevejledningsdiagram over del 1 af rapporten. Lilla er starten på hvert kapitel, rød er større afsnit, gul er underafsnit og blå er resultatet af del 1.

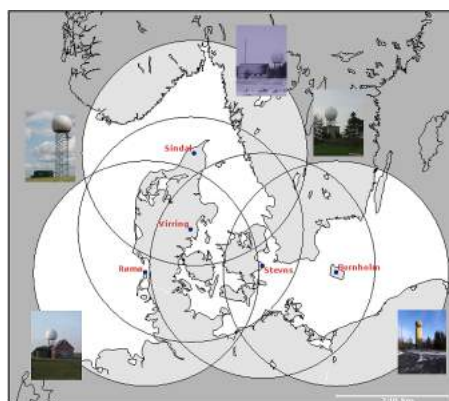
Hvad er radar? 2

Radar står for "Radio Detection and Ranging", og som navnet indikerer anvendes radiobølger til at finde objekter samt bestemme afstanden til dem, ved at måle på udsendte radiobølger der har ramt et objekt, og derefter er reflekteret tilbage til radaren. At finde afstanden til objekter var også det søgte formål, da radar-teknologien blev udviklet under 2. Verdenskrig, hvor teknologien blev anvendt til at vise positionen af fjendens fly [Brown og March, 2000].

Dette kapitel vil indeholde en beskrivelse af grundlæggende viden omkring radar. Først vil afsnittet *Hvilke radartyper findes der?* beskrive hvilke forskellige typer af radar der anvendes i dag. Dette gøres for at give et billede af, at radar anvendes på mange forskellige måder, og at radarsatellitter kun er en lille andel af dette. Efterfølgende vil selve teknologien bag radar blive belyst i afsnittet *Hvordan fungerer en radar?*, hvori underoverskrifterne vil være de forskellige overordnede begreber der beskriver hvordan radar fungerer. Heri indgår en beskrivelse af geometriske parametre der har indflydelse på anvendelsen af radar. Det er dog ikke alle radartyper hvori disse parametre har indflydelse, men da radarsatellitter er én type, hvor parametrene *har* indflydelse, vil afsnittet forekomme alligevel. Afslutningsvis vil der være et afsnit, der giver eksempler på hvilke typer områder og objekter en radar med fordel kan anvendes til at producere data for.

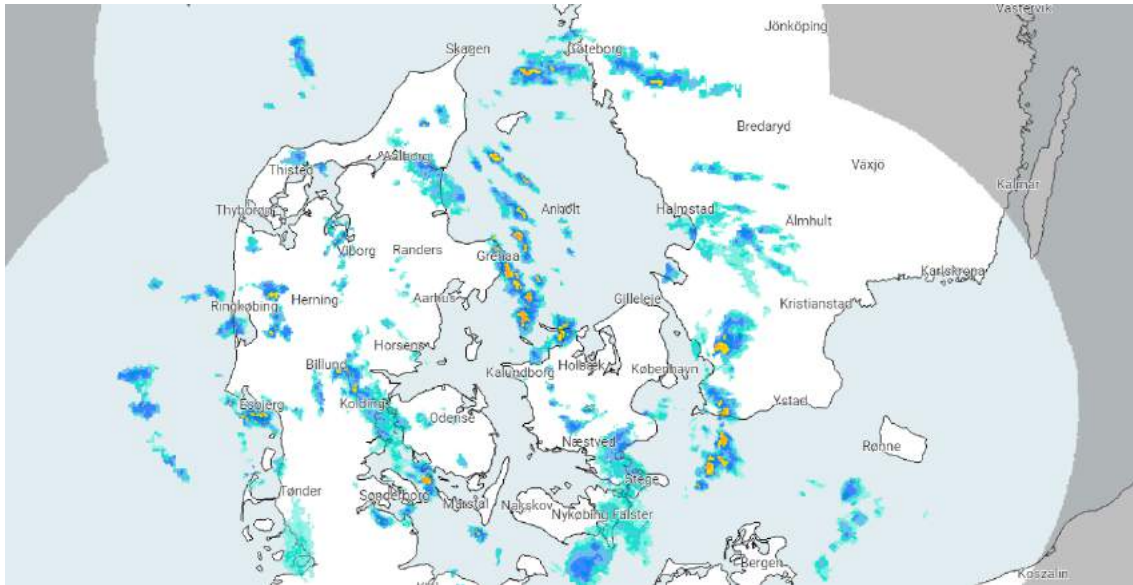
2.1 Hvilke radartyper findes der?

Udviklingen af radarsystemet har ført til, at der bruges radar inden for mange felter i dag. Radar bliver generelt opdelt i to kategorier ud fra deres formål; billeddannelse eller ikke-billeddannelse. Yderligere kan radar grupperes i luftbårne eller jordbaserede radarsystemer. En klassisk ikke-billeddannelsesradartype, som ses i mange krigsfilm, er en *plan position indicator*, PPI, som anvender et cirkulært display til at vise hvor objekter, såsom fly og skibe er beliggende, og i hvilken retning de bevæger sig. Denne type radar bliver desuden også brugt inden for luftfartstrafik og til at forudsige vejret. En vejrradar, eller en meteorologisk radar, er en form for PPI, og er en typisk jordbaseret ikke-billeddannelsesradartype, som bruger et *Doppler* radarsystem, der laver faseforskydning af Doppler-frekvensen for at finde



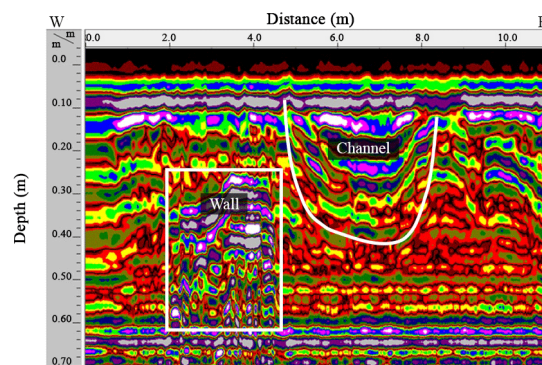
Figur 2.1. DMI's fem vejrradarer og deres dækning i Danmark [DMI, u.d.(a)].

hastighed og afstand til eksempelvis nedbøren. Heri indgår en række fysiske egenskaber, eksempelvis det nævnte Doppler, som ikke er vigtig at kende til, til formålet her. Det samme som for vejrradaren gør sig gældende for politiets fartscanner, der bruger samme princip til at tjekke bilers hastighed. [Lillesand et al., 2015, kap. 6] Udviklingen af vejrradaren har resulteret i, at en vejrradar kan monitorere og forudsige vejrhændelser lige fra lokalt nedbør til ekstremhændelser som orkaner [IBM, 2020]. Eksempelvis er det i Danmark *Danmarks Meteorologiske Institut*, DMI, som monitorerer og forudsiger vejret. DMI har fem vejrradar-stationer, som giver en dækning af hele Danmark, hvilket kan ses på figur 2.1, og på figur 2.2 vises nedbør på DMI's online vejrradar.



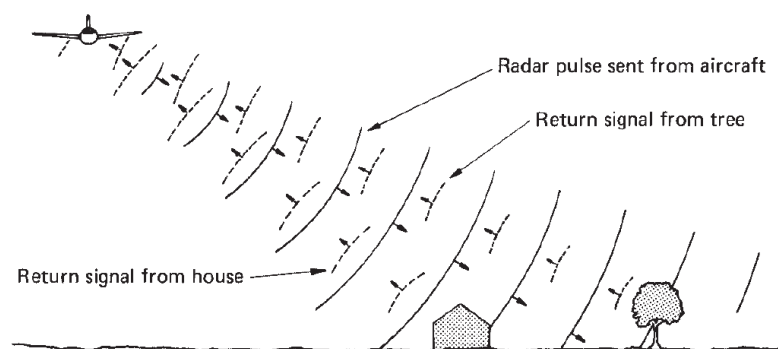
Figur 2.2. DMI's vejrradarkort med nedbør spredt udover Danmark fra d. 13-05-2022 [DMI, u.d.(b)].

En georadar (Ground penetrating radar) er en radartype, der anvendes til at undersøge forhold under jorden og kan hjælpe med at undersøge hvilke elementer der eksempelvis er i jorden eller i konstruktioner. Denne form for radar sender et signal ned i jorden og ud fra ekkoet, der modtages, kan grænserne mellem forskelligt materiale findes og eksempler på dette kan være hulrum under asfalt, eller skjulte ledninger i undergrunden. [Teknologisk Institut, u.d. Geopartner Inspections, 2020] På figur 2.3 ses et eksempel på hvad der kan ses med en georadar i en arkæologisk sammenhæng. Det ses, at der på baggrund af materialernes forskellige egenskaber i jorden, gives forskellige ekko tilbage til georadaren. På denne måde kan arkæologen vurdere, at det scannede område er værd at grave op, da der er en begravet mur og en begravet kanal [Abueladas og Akawwi, 2020].



Figur 2.3. Eksempel på hvad der kan ses ved hjælp af en georadar. På billedet ses en begravet mur og en begravet kanal [Abueladas og Akawwi, 2020].

Side looking radar, SLR, er en type luftbåret billeddannende radar. SLR benytter, som navnet angiver, en radar, der scanner skævt ned på et område. På denne måde kan SLR-radaren producere et billede af et område, baseret på afstande både imellem objekter i området og afstande fra objekter til radar, og ikke *kun* afstande fra objekter til radaren, som de andre radartyper har gjort. Denne type radar anvendes altså til at producere kortlægninger over områder, og kan på baggrund af, at radartypen hovedsageligt anvendes på fly og satellitter, kortlægge i stor skala. På figur 2.4 ses et eksempel på hvordan denne radartype virker. Det ses, at de sendte radarsignaler, i form af fulde linjer, rammer bygningen og træet på jorden, hvorefter der returneres et ekko i form af de stiplede linjer. På denne måde kan radaren se forskel på de to objekter, da ekkoet ikke kommer tilbage på samme tid fra hvert objekt [Lillesand et al., 2015, kap. 6].



Figur 2.4. Eksempel på princippet for side looking radar, SLR [Lillesand et al., 2015, s. 390]. De fulde linjer er signaler sendt fra radaren, og de stiplede linjer er ekkoet fra bygningen og træet.

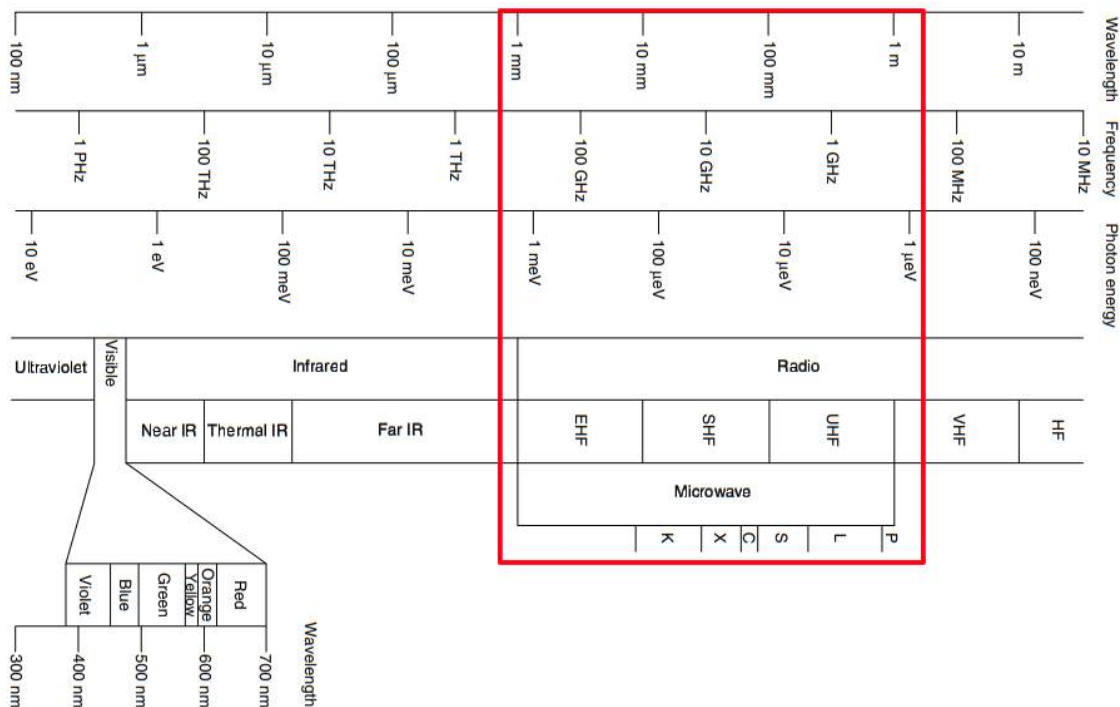
Eftersom radiobølger spredes på lang afstand, vil objekter på jorden med en vis afstand imellem dem se ud som ét objekt. For at undgå dette, kræves en større fysisk radarantenne, hvilket for satellitter i rummet kan være upraktisk. De fleste moderne SLR-radarer anvender derfor den såkaldte *Synthetic Radar Aperture*-teknologi, SAR, til at fjerne denne problematik. SAR fungerer ved at *simulere* en større fysisk antenne, hvor den ene fysiske antenne på et fly eller en satellit anvendes over flere omgange til den samme kortlægning, mens flyet eller satellitten bevæger sig. Dette betyder, at en 1 m lang antenne, kan ende med eksempelvis at være en syntetisk 100 m lang antenne, og derved minimere problemet med satellittens lange afstand til jorden. Dette kan der læses mere om i appendiks A1 på side 111.

2.2 Hvordan fungerer en radar?

Radar fungerer ved, at der udsendes et signal i form af en elektromagnetisk bølge, og derefter måles de returnerende bølger, kaldet backscatter, som returnerer på forskellig vis baseret på hvad bølgerne har ramt. [Lillesand et al., 2015, kap. 6] Netop den sidste del er vigtig, da kendskab til hvordan bølgerne agerer med overflader og objekter er nødvendig for at kunne fortolke radarbilleder. På baggrund af dette vil de følgende underafsnit omhandle hvordan de returnerende bølger skal fortolkes, for derved at kunne bestemme hvad de har ramt.

2.2.1 Bølgelængde og radarbånd

De elektromagnetiske bølger, som en radar udsender, bliver kategoriseret efter deres bølgelængder, λ , i et elektromagnetisk spektrum, som ses på figur 2.5.



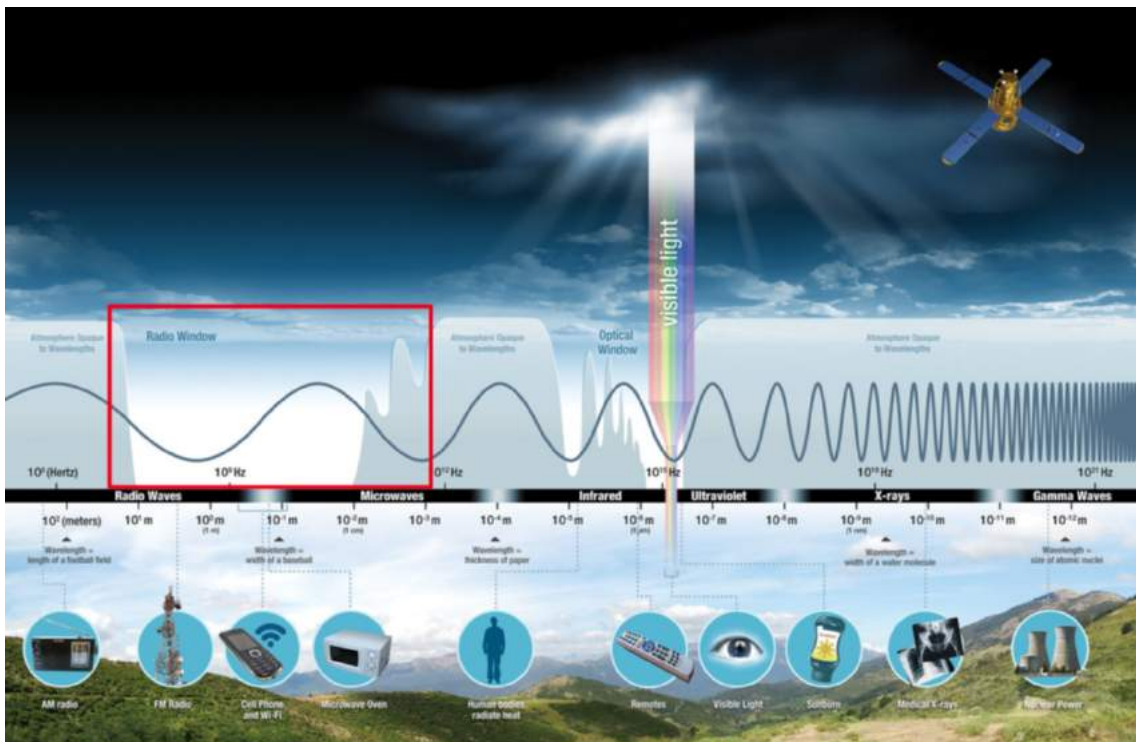
Figur 2.5. Det elektromagnetiske spektrum, der viser ultraviolet lys, synligt lys, infrarødt lys og radiobølgelys [Rees, 2014, s. 14]. Rød firkant indrammer bølgelængderne i klassen mikrobølger, der er den størrelse bølger, som radarsatellitter anvender.

For at gøre det mere overskueligt er det elektromagnetiske spektrum inddelt i klasser, afhængigt af hvordan de elektromagnetiske bølger er blevet genereret eller opdaget. Disse klasser hedder ultraviolet, synligt lys, infrarødt lys og radiobølger, hvor radiobølger er den interessante klasse at se på i forhold til radar. Inden for radiobølger ligger klassen mikrobølger, markeret med rød firkant på figur 2.5, som igen er opdelt i forskellige klasser; de såkaldte radarbånd med navnene; K, X, C, S, L og P (radarbånd med navnene Ka og Ku anvendes også til radar, men er ikke på figuren). Bølgelængderne for disse klasser er vist i tabel 2.1. Fremover vil de elektromagnetiske bølger blive refereret til som mikrobølger, da radar anvender bølgelængder inden for denne størrelsesorden [Rees, 2014, kap. 2]. De viste bølgelængder i tabel 2.1 er de radarbånd der anvendes af radar, da de kan penetrere atmosfærens gasser, partikler og vanddamp, med undtagelse af de mindste bølgelængder i radarbåndene fra Ka til X. Disse radarbånd kan kun til en

Bånd	Bølgelængde λ [cm]
Ka	0,75-1,1
K	1,1-1,67
Ku	1,67-2,4
X	2,4-3,75
C	3,75-7,5
S	7,5-15
L	15-30
P	30-100

Tabel 2.1. Oversigt over bølgelængderne i cm for radarbånd [Lillesand et al., 2015, s. 409].

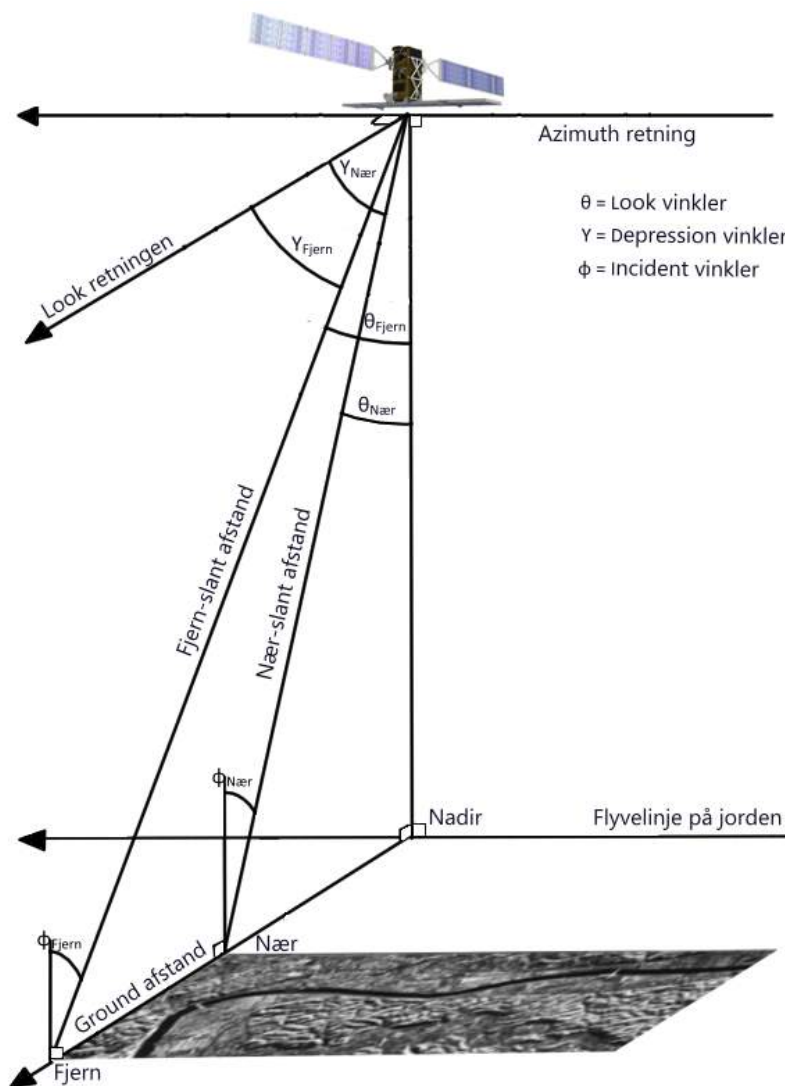
vis grad penetrere atmosfæren, da eksempelvis nedbør kan forstyrre signalet. Netop derfor kan disse radarbånd anvendes til at lokalisere nedbørsbyger og andet vejr, og er derfor også grunden til, at nogle vejrradarer anvender disse radarbånd. [Lillesand et al., 2015, kap. 1] Eftersom radarsatellitter befinder sig i rummet kigger de igennem *hele* atmosfæren, og nogle af radarbåndene er derfor ikke optimale at anvende til radarsatellitter, da der på lang afstand skal "kigges" igennem flere atmosfæriske forstyrrelser. Her udnytter radarsatellitter et såkaldt vindue i atmosfæren vist som den røde firkant på figur 2.6. Dette vindue giver adgang til, at mikrobølgerne kan penetrere atmosfæren næsten uden at blive påvirket af gasser og andre partikler i atmosfæren. Mere om interaktionen mellem mikrobølger og atmosfæren kan findes i appendiks A2 på side 112. [Lillesand et al., 2015, kap. 1]



Figur 2.6. Illustration af det atmosfæriske vindue, hvor radar kan se igennem atmosfæren, markeret med rød firkant, i det elektromagnetiske spektrum [ESA, u.d.(k)].

2.2.2 Geometriske parametre

Ved anvendelse af radartypen SLR er der en række geometriske parametre, som har en indflydelse på hvad der ses på radarbillederne. Det er derfor vigtigt at have en forståelse for disse parametre, når det ønskes at fortolke billederne. På figur 2.7 ses en illustration af alle disse geometriske parametre. Det ses, at der indgår en lang række parametre og figuren kan derfor se indviklet ud. For at gøre det nemmere, kan parametrene overordnet inddeles i tre grupper; retninger, afstande og vinkler.

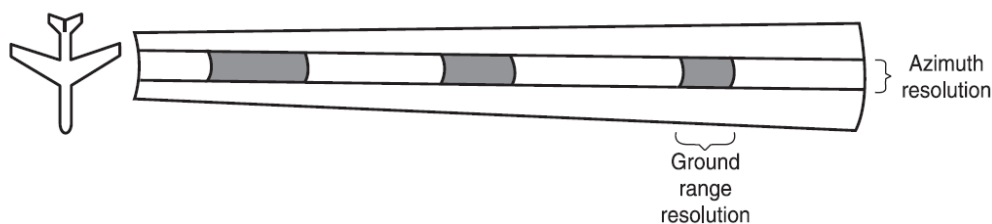


Figur 2.7. Illustration af alle geometriske parametre, der gør sig gældende i forhold til anvendelsen af radartypen SLR. Redigeret figur fra Jensen, 2014, s. 293. Parametrene kan inddeles i tre grupper; retninger, afstande og vinkler.

Retningerne inddeles yderligere i nadir, azimuth og look. Nadir er retningen direkte ned under radaren, azimuth er flyveretningen af radaren og look er retningen radaren "kigger" i, vinkelret på både nadir og azimuth retningen. Afstandene inddeles yderligere i slant og ground, hvor slant afstanden er den direkte afstand fra radar til objekt og ground er afstanden mellem objekter på jorden. Når radaren scanner et område opstår også begreberne nær og fjern, hvor nær er punktet i det scannede område tættest på radaren, og fjern er punktet længst væk. Derfor findes der også to forskellige slant afstande for nær- og fjern punkterne. [Lillesand et al., 2015, kap. 6]

Hertil kan der snakkes om azimuth og ground opløsninger, hvor azimuth-opløsningen er parallel med azimuth retningen og ground opløsningen er vinkelret derpå, som vist på figur 2.8. Disse to opløsninger bestemmer cellestørrelsen i radarbilledet, og cellestørrelsen bestemmer om radaren kan "se" forskel på objekter på jorden. [Lillesand et al., 2015, kap. 6] Hvis opløsningen er 10x10 m (som den er for Sentinel 1), kan radaren kun se forskel på

objekter der har en afstand på mindst 10 m imellem dem.



Figur 2.8. Illustration af azimuth- og ground opløsningerne, der bestemmer i hvilken skala radaren kan se forskel på objekter på overfladen [Lillesand et al., 2015, s. 401].

Vinklerne inddeles yderligere i depression-, look- og incident vinkler, hvor hver vinkel kan beregnes ud fra de andre vinkler. Depression vinklerne er vinklen mellem look retningen og nær- og fjern slant afstandene. Look vinklerne er vinklen mellem nadir retningen og nær- og fjern slant afstandene. Til sidst er incident vinklerne vinklen mellem nær- og fjern slant afstandene og en vinkelret linje fra jordoverfladen. [Lillesand et al., 2015, kap. 6]

Da der indgår mange forskellige parametre i anvendelsen af SLR, er det svært at sige hvilken, eller hvilke, der er vigtigst at have i mente i fortolkningen af radarbilleder. Dette gør sig især gældende, da de forskellige parametre også afhænger af hinanden. Incident vinklen er én parameter, der er god at have i mente, da denne vinkel bestemmer hvor stor en del af mikrobølgerne der reflekterer væk fra radaren. Eftersom radarbilleder viser backscatter (som beskrives i næste afsnit), og incident vinklerne har en indflydelse på styrken af backscatter, giver det god mening at kigge på incident vinklens betydning. [Lillesand et al., 2015, kap. 6] Dette er især tydeligt at se på radarbilleder over et stort område, da incident vinklen herpå vil variere betydeligt fra nær- til fjern punkterne. Et eksempel på dette vil gives i næste kapitel, da netop radarsatellitter kan producere radarbilleder over store områder.

2.2.3 Backscatter

Den billeddannende SLR-radartype producerer radarbilleder i to dimensioner, der er en repræsentation af et områdes backscatter, hvor hvid typisk betyder høje værdier, og sort er lave værdier på billeder. Hvordan disse billeder fortolkes kræver en forståelse af hvad backscatter er. En radar udsender en mikrobølge, som bliver sendt i retning af et område på jorden. Når mikrobølgerne rammer et objekt, eksempelvis et træ eller et hus, vil der ske en refleksion, som sender mikrobølgerne tilbage mod radaren. Radaren modtager mikrobølgerne og måler det som intensiteten af backscatter, og derfra producerer et billede. [Jensen, 2014, kap. 8]

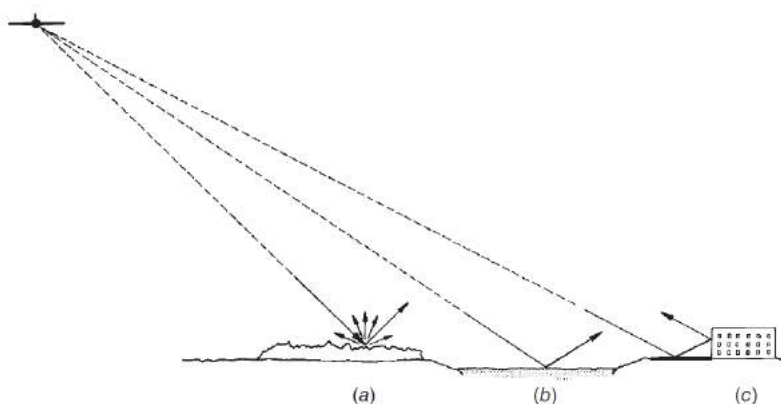
For at give et overblik over de parametre der har indflydelse på backscatter anvendes *radarligningen*; ligning 2.1 fra Jensen, 2014, s. 308.

$$P_r = \frac{P_t \cdot G_t \cdot \sigma \cdot A_r}{(4\pi)^2 \cdot R^4} \quad (2.1)$$

P_r	Er den modtagne mikrobølgeenergi, som er en funktion af de sendte mikrobølger
P_t	Er den transmitterede mikrobølgeenergi, der bliver sendt af radaren i en vinkel
G_t	Er den mængde energi sendt fra antennen, der rammer målet
σ	Er radartværsnittet af et oplyst område, og er målets backscatter-område
A_r	Er den modtagende radar-antennes areal
R	Er afstanden fra radaren til målet

Radarligningen består af både systemiske og miljømæssige parametre, som påvirker backscatter, hvor de systemiske parametre er alle dele i ligningen undtagen backscatter, og disse kan fjernes fra radarbillederne, derved gives et "rigtigt" billede af området med korrekt geometri. Et områdes evne til at reflektere, eller på anden måde påvirke backscatter, afhænger af topografien af området, og især af overfladens ruhed, og er altså de miljømæssige parametre. Både topografiens og ruhedens påvirkning af backscatter, er vigtige at forstå for at kunne fortolke et radarsatellitbillede, og derfor vil en beskrivelse af disse forekomme i det følgende.

Overordnet kan der snakkes om tre typer af backscatter i forhold til SLR-radartypen, som afhænger af hvilken overflade der belyses med mikrobølger. Disse er; *specular reflection*, *diffuse scattering* og *double bounce*. På figur 2.9 ses disse typer af backscatter. Diffuse scattering kan yderligere opdeles i *surface scattering* og *volume scattering*. [Lillesand et al., 2015, kap. 6]



Figur 2.9. Tre typer af backscatter der kan forekomme baseret på overfladen mikrobølgerne rammer; a) diffuse scattering, b) specular reflection og c) double bounce [Lillesand et al., 2015, s. 419].

Specular reflection forekommer når mikrobølgerne rammer en glat overflade, hvorefter de fleste af bølgerne reflekterer væk fra overfladen, og næsten intet backscatter måles af satellitten [ESA, u.d.(1)]. Derfor ses sådanne områder som mørke på satellitbillederne, da signalet er svagt. Dette gør, at vandområder er lette at differentiere fra andre områder på satellitbilleder. Følgende ligning fra Jensen, 2014, s. 310 beskriver hvornår en overflade er glat;

$$h < \frac{\lambda}{25 \cdot \sin\gamma} \quad (2.2)$$

Hvor h er den lokale højde af objekter på overfladen, λ er bølgelængden af mikrobølgerne og γ er depression vinklen i grader. Hvis en depression vinkel på $57,00^\circ$ (gennemsnitlig vinkel for Sentinel 1 [ESA, u.d.(i)]) anvendes, samt at der anvendes C-bånd med en bølgelængde på 5.55 cm (bølgelængden for Sentinel 1 [ESA, u.d.(i)]), vil den lokale højde h være;

$$h < \frac{5,55\text{cm}}{25 \cdot \sin(57^\circ)} \Rightarrow h < 0,26\text{cm}$$

Altså vil objekter på overfladen, eksempelvis græsstrå, der har en størrelse på omkring 0,26 cm, give en lav eller ingen backscatter, og derved *ligne* vand.

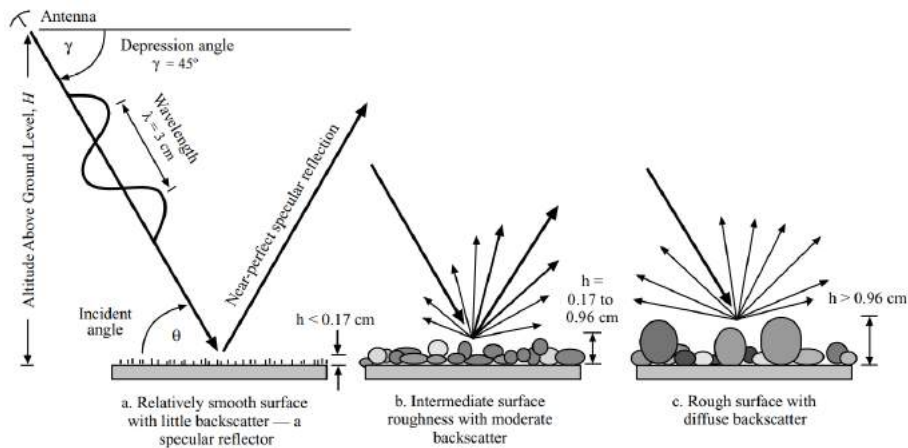
Surface scattering opstår når mikrobølgerne rammer en overflade, der ikke er glat. Det der afgør om en overflade ikke er glat, og derimod ru er; mikrobølgernes bølgelængde, incident vinklen og azimuth- og ground opløsningerne. Begrebet ruhed beskriver om en overflade er ru, samt i hvilken grad overfladen er ru. Denne overfladeruhed har en stor betydning på backscatter-værdierne, da overflader med en høj ruhed giver mere backscatter, mens en lav ruhed giver mindre backscatter. Lillesand et al., 2015, s. 419 nævner at overfladeruheden har en dominerende betydning for backscatter frem for topografien, når incident vinklen er $30 - 70^\circ$. Overfladeruheden er derfor dominerende for de anvendte Sentinel 1 satellitbilleder, da satellitterne opererer med en incident vinkel på $29,1 - 46,0^\circ$ [ESA, u.d.(e)]. Overfladeruheden kan også have indflydelse på backscatter for vandområder, da bølgerne kan skabe en vis ruhed, og derved give surface scattering i stedet for specular reflection [Lillesand et al., 2015, kap. 6]. Et andet vigtigt begreb, der har indflydelse på surface scattering, er den dielektriske konstant, som beskriver et materiales konduktivitetsevne. Denne konstant er direkte relateret til en overflades indhold af vand, og jo højere vandindholdet er, des mere vil mikrobølgerne reflektere væk fra radarsatellitten. Dette er grunden til, at der eksempelvis kan ses forskel på tør og våd jord på satellitbilleder, da jord typisk har en dielektrisk konstant-værdi på 3-8, mens vand har en værdi på 80. [Lillesand et al., 2015, s. 421] Ligesom tidligere for en glat overflade, har Jensen, 2014, s. 311 også givet en ligning for hvornår en overflade er ru;

$$h > \frac{\lambda}{4,4 \cdot \sin\gamma} \quad (2.3)$$

Hvis samme bølgelængde og depression vinkel som tidligere antages vil h være;

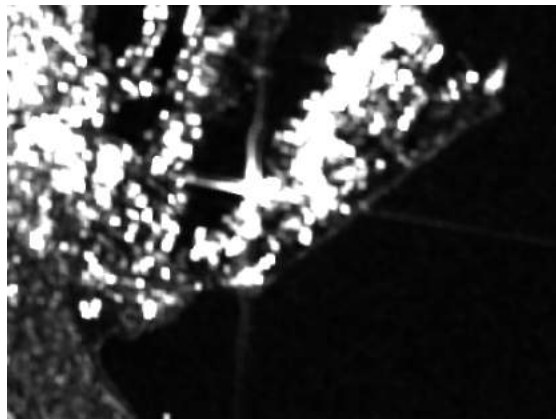
$$h < \frac{5,55\text{cm}}{4,4 \cdot \sin(57^\circ)} \Rightarrow h > 1,5\text{cm}$$

Altså vil en overflade være ru, hvis objekternes lokale højde h er større end 1,5 cm. På figur 2.10 er dette illustreret for en X-bånd radar, med en bølgelængde på 3 cm og en depression vinkel på 45° .



Figur 2.10. Illustration af effekten af overfladens ruhed på mængden af backscatter, baseret på objekternes lokale højde h på overfladen. a) er specular reflection, b) er diffuse scattering med en moderat backscatter og c) er en mere spredt diffuse scattering [Jensen, 2014, s. 310].

Volume scattering forekommer når mikrobølgerne rammer ind i "3D objekter", eksempler på sådanne objekter er planter på marker, trækroner og tørt sne. Når mikrobølgerne rammer disse objekter, vil refleksion forekomme i mange retninger, og kun en vis del af bølgerne kommer tilbage til satellitten som backscatter. [ESA, u.d.(1)] Denne type backscatter ses på figur 2.10c, da det er en slags diffuse scattering. Double bounce dækker over et fænomen hvor mikrobølgerne rammer en flad overflade, på samme måde som specular reflection, og derefter rammer endnu en flad overflade vinkelret på den første overflade, som illustreret tilbage på figur 2.9c. Når dette sker forstærkes signalet, og kommer direkte tilbage til antennen [ESA, u.d.(1)]. Bygninger er et rigtig godt eksempel på hvor double bounce opstår, og især i byer ses derfor høje backscatter-værdier. I nogle tilfælde kan backscatter-værdien være så høj, at der opstår "stjerner" i radarbilledet. Et eksempel på dette ses på figur 2.11 i midten af billedet.

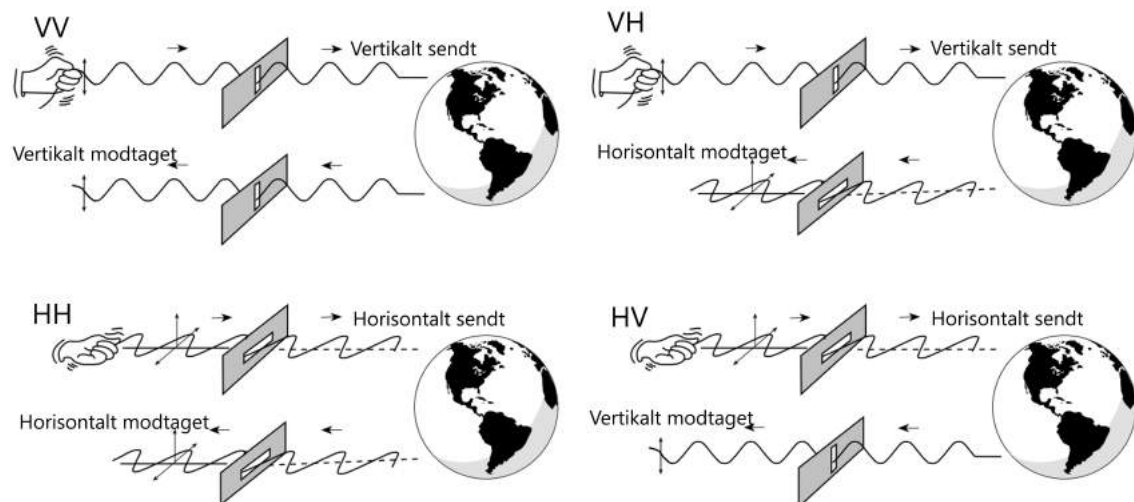


Figur 2.11. Eksempel på en "stjerne" der kan opstå med høj backscatter som følge af double bounce. Bearbejdet satellitbillede fra d. 16-04-2019 [ESA, u.d.(b)].

2.2.4 Polarisering

Polarisering er en anden egenskab, der beskriver de udsendte og modtagne mikrobølger, og har en betydelig indflydelse på backscatter-værdierne. Denne indflydelse består i, at forskellige områder giver forskellige intensiteter af tilbagevendende backscatter ved forskellige polariseringer. Polarisationen af mikrobølgerne er en betegnelse for hvilken orientering mikrobølgerne bevæger sig i, og kan være vertikal eller horisontal. Om polarisationen af mikrobølgerne er vertikal, V , eller horisontal, H , har en betydning for

hvordan mikrobølgerne agerer med jordoverfladen og objekterne derpå. [Lillesand et al., 2015, kap. 6] Radar kan indstilles til kun at sende og/eller modtage vertikale- eller horisontale bølger, hvilket betyder at der findes fire forskellige slags polariseringer for radar; HH, VV, HV og VH, og disse fire typer polariseringer er illustreret på figur 2.12. De to første polariseringer kaldes "co-polariseret", da der sendes og modtages med samme polarisering, mens de to sidste kaldes "kryds-polariseret", da der sendes og modtages med forskellig polarisering. [Lillesand et al., 2015, kap. 6]



Figur 2.12. Illustration af de fire typer polariseringer som radar opererer med. VV og HH er "co-polariseret", da de både sender og modtager i samme orientering. VH og HV er "kryds-polariseret", da de sender og modtager med en ændring i orientering. Redigeret billede fra Jensen, 2014, s. 295.

Følgende citat fra Jensen, 2014 beskriver fordelene ved at udvælge bestemte polariseringer alt efter hvilken information om området, der ønskes:

"The ability to record different types of polarized energy from a resolution element in the terrain results in valuable Earth resource information in certain instances."

[Jensen, 2014, s. 295]

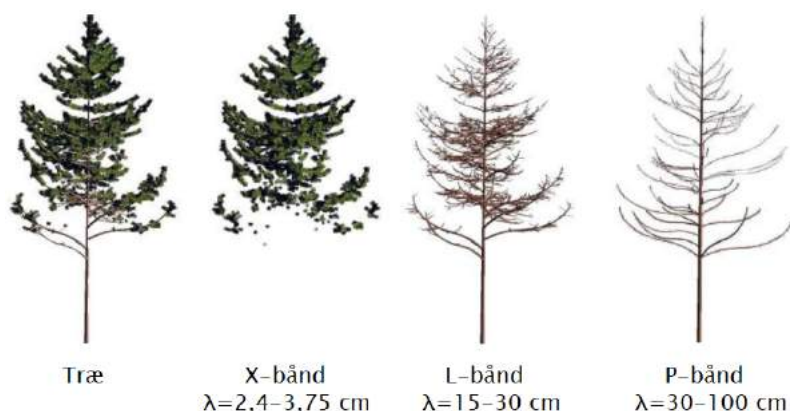
Altså er det fordelagtigt at vælge en af de fire typer polariseringer ud fra det ønskede resultat. Jensen, 2014 giver desuden et eksempel på en undersøgelse, der viste, at polariseringen HH giver det bedste resultat for kortlægning af basalt lavastrømning i Arizona. Backscatter fra vegetation gennemgår ofte et skifte i polarisering, så hvis der ønskes at få informationer omkring vegetation, vil det være fordelagtigt at anvende en kryds-polarisering. Eksempler på dette er givet i Lillesand et al., 2015, kap. 6.

2.3 Hvad kan en radar se?

Dette afsnit har til formål at give eksempler på hvad en radar kan se på baggrund af de beskrevne egenskaber i det ovenstående, herunder radarbånd, backscatter og polarisering.

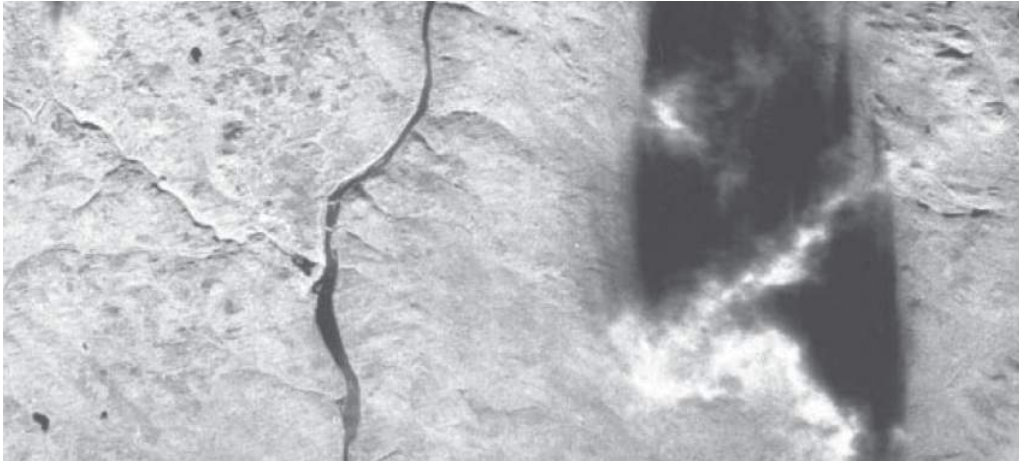
Dette gøres for at vise, at disse egenskaber har en indflydelse på hvordan de resulterende radarbilleder vil se ud, og derved, at en aktør skal have disse i mente, når radarbilleder fortolkes.

Tilbage i afsnittet om radartyper blev det vist hvad radartyperne kan se og hvad de bliver brugt til. Samtidig blev radartyperne delt op i to; billeddannende og ikke-billeddannende. De ikke-billeddannende viser eksempelvis afstande og hastigheder (som i nogle tilfælde kan omdannes til billeder; vejrradaren på figur 2.2), mens de billeddannende producerer 2D billeder. Typisk bliver luftbårne og rumbårne radarer defineret som billeddannende [Lillesand et al., 2015, s. 386]. Eftersom der kun er givet eksempler på hvad de ikke-billeddannende radarer kan se, vil der her gives eksempler på hvad de billeddannende radarer kan se.



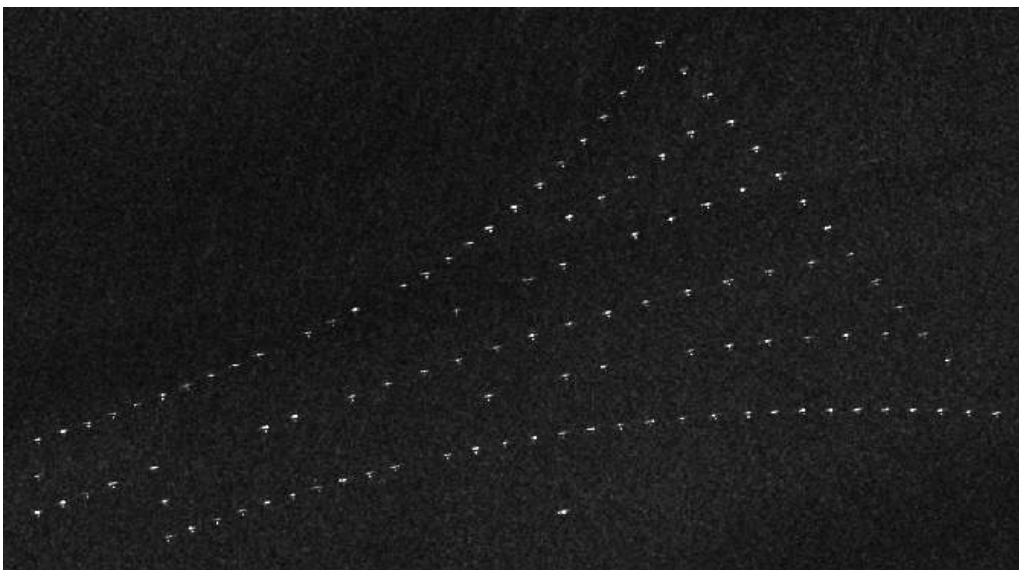
Figur 2.13. Eksempel på hvad de forskellige radarbånd og deres tilhørende bølgelængder kan se på samme træ. Redigeret billede fra ESA, u.d.[m].

Det blev fortalt tidligere, at en radar bruger forskellige radarbånd. Generelt kan de forskellige radarbånd skelne mellem objekter, der har samme størrelse som bølgelængden der anvendes. På figur 2.13 vises et eksempel på hvad forskellen i valget af radarbånd kan have. X-båndet viser trækronen, L-bånd penetrerer trækronen, men reflekterer på små og store grene og P-båndet penetrerer trækronen og de små grene og reflekterer på store grene og stammen. Et eksempel på hvad K-bånd normalt bruges til er monitorering af nedbør, da der i dette bånd opereres med en bølgelængde på 1,1-1,67 cm, som gør at regndråberne har en betydelig effekt på bølgenes backscatter. Grunden til dette er, at bølgelængden har omkring den samme størrelse som regndråberne. En bølgelængde på mere end 4 cm, vil eliminere denne effekt, og derfor har nedbør kun en betydelig effekt på K- og X-båndene [Lillesand et al., 2015, s. 410].



Figur 2.14. Eksempel på hvordan nedbør kan se ud på et X-bånd satellitbillede. Nedbøren ses som skyggen i højre side. Udsnit af billede fra Lillesand et al., 2015, s. 410.

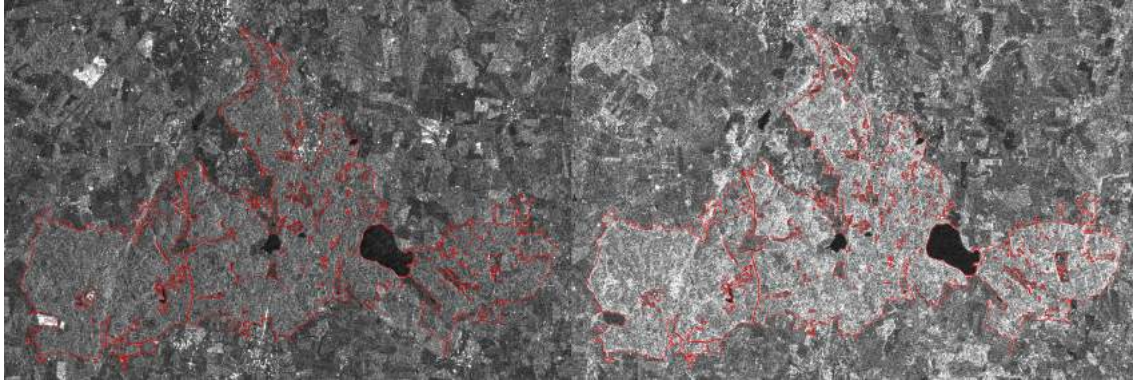
På figur 2.14 ses et eksempel på hvordan nedbør ser ud, når det ses fra en radarsatellit, der opererer med X-båndet. Nedbøren ses som de sorte skygger på billedet, og er altså en betydelig forstyrrelse af billedet. De beskrevne refleksioner har også en indflydelse på hvad der kan ses på radarbilleder. På figur 2.15 er der vist et eksempel fra en radarsatellit, hvor effekten double bounce optræder. Her bliver havvindmøller tydeligt fremhævet ved double bounce, da de er omringet af vand, der giver specular reflection, som derefter rammer en flade, vindmøllerne, vinkelret derpå.



Figur 2.15. Eksempel på double bounce og hvordan denne kan fremhæve havvindmøller (de hvide prikker). Bearbejdet og roteret satellitbillede fra d. 16-04-2019.

Som nævnt har valget af polarisering en betydning for hvad der kan ses med radar. På figur 2.16 ses et eksempel på dette, hvor venstre side viser Rold Skov i Nordjylland d. 30-12-2019 med VV-polarisering og højre side viser VH-polarisering. På figuren ses det, at Rold Skov vises tydeligere ved VH-polarisering. Grunden til dette er, at vegetation, som nævnt tidligere, giver kryds-polarisering når mikrobølgerne rammer, hvilket derfor får

sendte vertikale bølger til at vende tilbage som horisontale bølger, og derfor ses vegetation tydeligere når radaren sender vertikale bølger og kun modtager de horisontale bølger. Hvis der ikke var indsat en rød linje, som omridser Rold Skov, ville skoven ikke være tydelig at se i forhold til omkringliggende områder ved VV-polarisering.



Figur 2.16. Eksempel på forskel i backscatter ved to polariseringer for Rold Skov i Nordjylland på radarsatellitbillede fra d. 30-12-2019. Venstre er VV og højre er VH. Røde linjer omridser Rold Skov.

Radarsatellit som værktøj til overvågning af oversvømmelser

3

I kapitel 2 blev det klargjort, at radartypen SLR med fordel kan anvendes som en metode til at kortlægge oversvømmelser og med radarsatellitter kan dette gøres på stor skala. Derfor vil dette kapitel tage hånd om grundprincipperne bag radarsatellitter for at give en forståelse for hvorfor radarsatellitbilleder ser ud som de gør. Kapitlet vil starte ud med et eksempel på hvordan rådata fra en radarsatellit kan se ud, og derfra beskrive hvad der ses på billedet, samt hvorledes det kan bearbejdes til et analyserbart billede, der senere kan anvendes i de to monitoreringskoncepter.

3.1 Eksempel på radarsatellitdata

ESA udgiver data fra Sentinel 1 i *helt* rå data, men dette skal bearbejdes i anden software end SNAP Desktop, før det kan visualiseres, og vil derfor ikke beskrives yderligere eller vises i dette projekt. Det eksempel på "rådata" der gives i dette afsnit vil derfor allerede have gennemgået en vis bearbejdning. Eksemplet på radarbilledet gives for at visualisere, at data fra start ikke ser ud til at kunne anvendes til noget brugbart, men, at det i virkeligheden egentlig indeholder mange værdifulde informationer.



Figur 3.1. Det mindst bearbejdede satellitbillede der kan hentes fra ESA, u.d.[b]. Billedet er af typen Single Look Complex, SLC.

På figur 3.1 ses et eksempel på et *SLC*-billede over Midtjylland fra ESA's Sentinel 1 radarsatellit. SLC står for Single Look Complex, og er en betegnelse for, at satellitbilledet har gennemgået en bearbejdning, og derfor ikke helt er rådata [ESA, u.d.(c)]. I første omgang ser det ikke ud til, at billedet giver værdifulde informationer, og egentligt i stedet er et støjfyldt billede. Billedet indeholder dog alt data, der skal bruges for at få værdifulde informationer ud af det scannede område, og derfra vise oversvømmede områder.

Det første der lægges mærke til på billedet er "fimmeret", dette ses, da hver celle i billedet viser en intensitet af de udsendte mikrobølger reflekteret fra et objekt på overfladen af jorden; backscatter [ESA, u.d.(h)]. Mere om dette i afsnit 3.2.

Det næste der lægges mærke til på figur 3.1 er linjerne der går på tværs af billedet. Disse linjer opstår på baggrund af, at satellitten scanner områderne i såkaldte "bursts", som er perioder hvor satellitten udsender mikrobølger. Disse bursts vil blive beskrevet i afsnit 3.3, hvor der også vil være en beskrivelse af hvordan effekten fra dem fjernes, samt en beskrivelse af det såkaldte *swath*. Swath er en betegnelse for det område satellitten scanner i, og derved det område den sender bursts til.

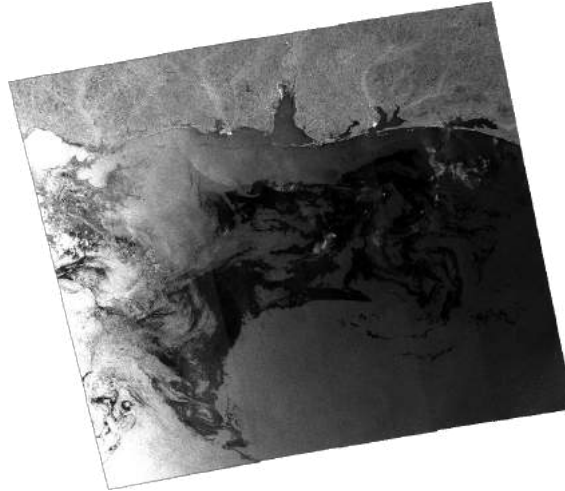
Det sidste der kan ses på figuren, hvis der ses godt efter, og der er kendskab til området (eksempelvis kan Djursland ses øverst i midten af billedet), er, at de fysiske størrelser af de geografiske områder er forvrængede. Dette er på baggrund af, at cellerne vises i *slant afstand*, som viser afstanden fra et objekt på jorden til radarsatellitens antenne. Slant afstanden er ikke optimal at anvende, da satellitten scanner skævt ned på jorden, og derfor fås de egentlige geometriske afstande på jorden ikke. Dette vil blive beskrevet yderligere i afsnit 3.4.

3.2 Backscatter for radarsatellitter

I afsnit 2.1 blev det belyst, at radarsatellitter sender mikrobølgerne til siden og ikke direkte ned i nadir-retningen. Dette betyder, at der kan opstå problemer når en radarsatellit producerer billeder over et stort område, hvor problemet opstår på baggrund af forskellen i incident vinklen henover billedet [Jensen, 2014, kap. 8]. Incident vinklen er mindst ved nærpunktet, og størst ved fjernpunktet, hvilket betyder, at ét objekt ved fjern vil returnere en mindre mængde backscatter end et identisk objekt ved nær vil [Rees, 2014, kap. 3]. Nær- og fjern punkterne er betegnelser for området der scannes af radarsatellitten. Nær er punktet i det belyste område ved overfladen tættest på satellitten, mens fjern er punktet længst væk.

Dette "fænomen", hvor backscatter varierer i takt med, at incident vinklen øges, ses tydeligt på satellitbilleder over et stort område, mens det ikke har en betydelig effekt for satellitbilleder i en mindre skala. Dette giver god mening, da forskellen fra nær til fjern er større i et stort område, og mindre i et lille område. Et eksempel på effekten af en stor variation i incident vinklen ses på figur 3.2. Området på figuren dækker $\approx 170.000 \text{ km}^2$, og afstanden fra venstre til højre side er $\approx 415 \text{ km}$. Det er altså et forholdsvist stort område at dække med ét satellitbillede, og deraf også en stor variation i incident vinklen. Effekten af variationen ses på figuren, i form af, at venstre side generelt er lysere end højre side, hvilket fortæller, at radarsatellitten har været placeret til venstre for billedet, da værdierne går fra en skala på sort til hvid. Højre side af figuren oplever altså betydeligt lavere backscatter

end venstre side, selv for samme typer områder, hvilket er tydeligst at se for vandet i den nederste del af billedet. Som sammenligning til den arealmæssige størrelse på billedet, vil der i dette projekt anvendes satellitbilleder til et område på $\approx 157 \text{ km}^2$ og en afstand fra side til side på $\approx 18 \text{ km}$. Altså et betydeligt mindre område, og deraf en betydelig mindre effekt fra variationen i incident vinkel.



Figur 3.2. Satellitbillede over en oliespildshændelse i den Mexicanske Golf d. 22 juni 2010 [ESA, u.d.(g)], der viser effekten af en høj variation i incident vinklen. Cellerne viser backscatter på en skala fra sort (lav) til hvid (høj), hvor olien ses som de helt sorte områder.

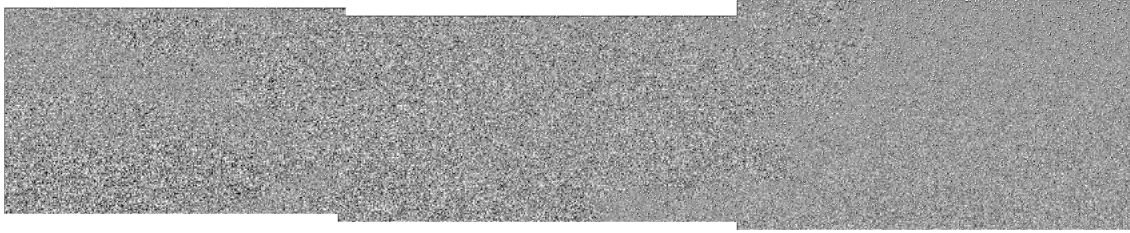
3.3 Visuelle forstyrrelser som resultat af bursts og swaths

Tilbage på figur 3.1 kunne det ses hvordan billedet er opdelt af vertikale streger. Disse er et resultat af hvordan radarsatellitten scanner i form af de såkaldte bursts. Disse bursts er en betegnelse for, at radarsatellitten udsender mikrobølger i perioder. Opdelingen af swaths og bursts er vist på figur 3.3. Den røde rektangel er hele swathen, som er området hele satellitbilledet dækker, mens de gule rektangler er bursts. Swathen er opdelt i tre subswaths når satellitten opererer i *IW*-tilstand (Interferometric Wide Swath), som anvendes over større landområder, til forskel for *EW* (Extra-Wide Swath) med fem subswaths, som anvendes over større vandområder. Disse opereringstilstande, er valgt fra ESA's side, og er altså ikke noget den almene bruger kan ændre. [ESA, u.d.(a)] Det er *IW* der vil blive anvendt i dette projekt, da det ønskes at finde vand i landområder, og de forskellige tilstande vil ikke blive beskrevet yderligere. For at fjerne bursts-linjerne og sammensætte de tre subswaths, bliver værktøjet TOPSAR-Deburst i SNAP Desktop anvendt. På figur 3.4 ses SLC-billedet efter anvendelse af TOPSAR-Deburst, hvor det ses, at de vertikale linjer er fjernet, samtidig



Figur 3.3. Swath vist med rød rektangel og bursts vist med gul rektangel som vist i værktøjet TOPSAR-Deburst i SNAP Desktop.

med, at de tre subswaths er sammensat til ét billede.



Figur 3.4. SLC-billedet fra tidligere efter anvendelse af TOPSAR-Deburst værktøjet. De vertikale linjer som resultat af bursts er væk og satellitbilledets tre subswaths er sat sammen.

3.4 Topografisk forvrængning: Slant afstanden

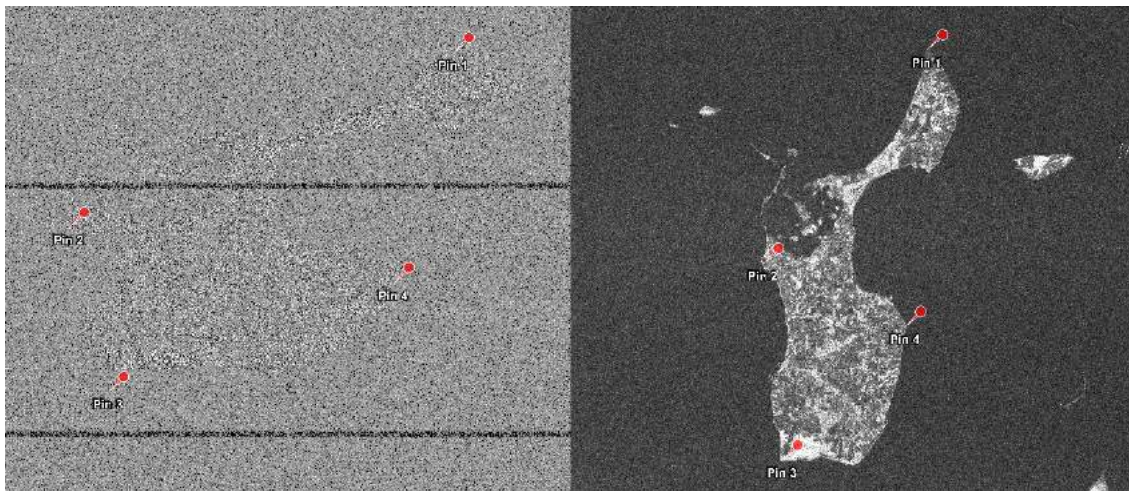
Når en radarsatellit har scannet et område, vises billedet, som nævnt tidligere, i slant afstand-geometri, hvilket betyder, at objekter på billedet ikke har den korrekte geometriske afstand, men derimod er vist med den afstand som objekterne har til radarsatellitten. Dette betyder, at der er forskel på cellestørrelsen, da radarsatellitten scanner skævt ned på jorden. De celler, som indeholder de områder tættest på radaren, er næsten helt kvadratiske, og de celler, som er længst væk fra radaren, er rektangulære, og objekterne heri vil derfor være forvrængede. [Jensen, 2014, kap. 8]

For at løse denne problemstilling, og for at få et billede som vises i den korrekte geometri, bliver radarbillederne korrigeret til ground afstand-geometri, hvor ground afstand betyder, at celler på billedet har den korrekte geometriske afstand og størrelse. Dette kan gøres ved at bruge ligning 3.1 fra Jensen, 2014, s. 296 på hver celle. I programmet SNAP Desktop gøres det ved hjælp af værktøjet *Slant Range to Ground range* for hele satellitbilleder, og altså alle celler på én gang.

$$G_{rd} = \sqrt{S_{rd}^2 - H^2} \quad (3.1)$$

G_{rd}		Ground afstanden
S_{rd}		Slant afstanden
H		Højden fra radarsatellitten til jorden

Forskellen på slant afstand-geometrien og ground afstand-geometrien er illustreret på figur 3.5, hvor de fire røde pins viser de respektive placeringer på begge billeder. Forskellen på venstre og højre billede i figuren er, at højre side er en bearbejdet version af venstre side, hvor slant afstanden er blevet omregnet til ground afstand (og har gennemgået det andet nævnte trin; fjernelse af effekten fra bursts).

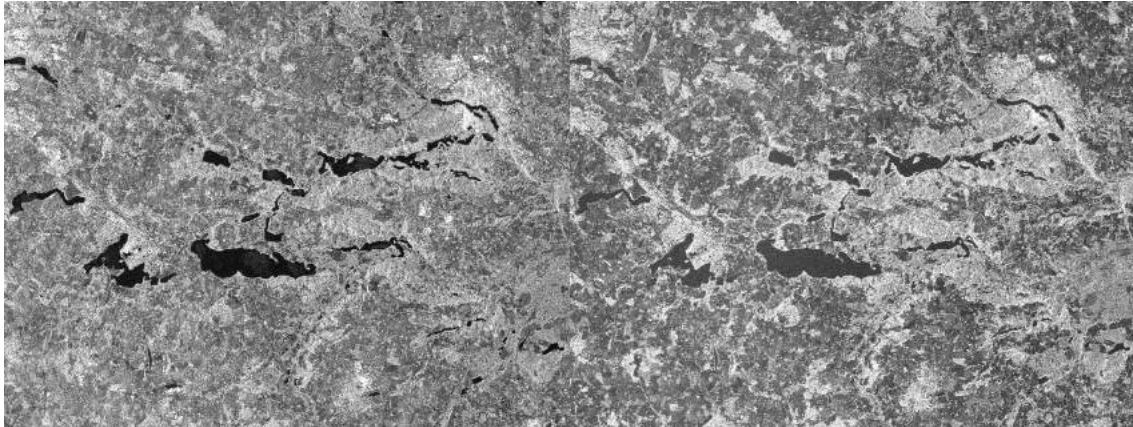


Figur 3.5. Slant afstand-geometri vs. ground afstand-geometri af Samsø. Bearbejdet satellitbillede fra d. 19-03-2022 fra ESA, u.d.[b]. De røde pins viser de samme geografiske placeringer i begge billeder, og derved ses det, at venstre billede er forvrænget.

Ligning 3.1 antager, at terrænet er fladt og der kan derfor opstå nogle problemstillinger ved brugen af den. Desuden kan ligningen ikke løse den topografiske forvrængning, som forekommer ved *layover*, *foreshortening* og *shadows*, som er en forstyrrelse på billeder, hvor områder ser forvrængede ud, som resultat af at eksempelvis bygninger eller bjerge kan skygge for områder eller ligge ind over sig selv, da signalet fra toppen er kommet tilbage til radarsatellitten før signalet fra bunden. Eftersom denne problemstilling ikke er relevant inden for projektområdet vil der ikke tages hensyn til dette fremadrettet, der kan dog læses mere om disse forvrængninger i appendiks A3 på side 113. [Jensen, 2014, kap. 8]

3.5 Valg af polarisering i forhold til oversvømmelser

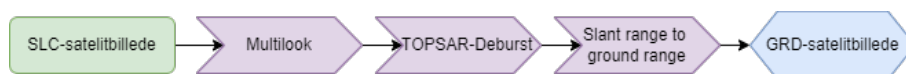
Polariseringen VV er fordelagtig at anvende, hvis det ønskes at kortlægge vand på baggrund af, at bølger i vandoverfladen kan give mere backscatter i VH frem for VV, og derved kan bølger give en vis forstyrrelse i billedet ved VH-polarisering [Jensen, 2014, kap. 8]. På figur 3.6 ses to versioner af det samme satellitbillede (efter forbehandling) med to forskellige polariseringer; VV til venstre og VH til højre. Det ses, at VV-polariseringen, som forventet, tydeligere viser vand (mørkere), mens VH-polariseringen viser en forholdsvis høj mængde støj i vandet. Dette støj ses som de mange grå celler i vandet, som derfor fremstår en anelse lysere end det til venstre. I dette tilfælde ville det derfor være svært at tildele en grænseværdi, der bestemmer hvad der er vand. Derfor vil det være satellitbilleder i VV-polariseringen, der bliver anvendt i denne rapport.



Figur 3.6. Forskellen mellem VV (venstre) og VH (højre) polariseringer på radarsatellitbillede fra ESA, u.d.[b] fra d. 31-03-2022. Der ses en generelt mørkere farve for vand i VV polariseringen, som derfor er nemmere at differentiere fra land.

3.6 Fremgangsmåden til at danne et analyserbart satellitbillede

Fremgangsmåden fra SLC-billedet til et billede der kan analyseres på, som kaldes GRD-satellitbilleder (Ground Range Detected), kan ses på figur 3.7. Disse trin anvendes for at fjerne de nævnte forstyrrelser i form af bursts og subswaths samt topografisk forvrængning og derved bearbejde satellitbillederne i sådan en grad, at de kan anvendes til analyser. *Multilook*-værktøjet anvendes til at reducere mængden af "speckles" i billedet. Speckles er en betegnelse for den "kornede" visuelle forstyrrelse der kan ses på satellitbilleder. Værktøjet fungerer ved at *looke* på flere billeder, altså kombinere billeder, og deraf *multi*-look. De forskellige billeder, der kombineres, agerer som forskellige scanninger af samme område, for på den måde at reducere støj i form af disse speckles. [ESA, u.d.(d)] Til sidst er der værktøjerne *TOPSAR-Deburst* og *Slant Range to Ground Range*, som begge er nævnt i dette kapitel, og anvendes henholdsvis til at fjerne de vertikale linjer i SLC-billederne og til at omregne celler fra slant afstand til ground afstand. ESA's egen beskrivelse af værktøjerne kan ses i appendiks A4 på side 115.

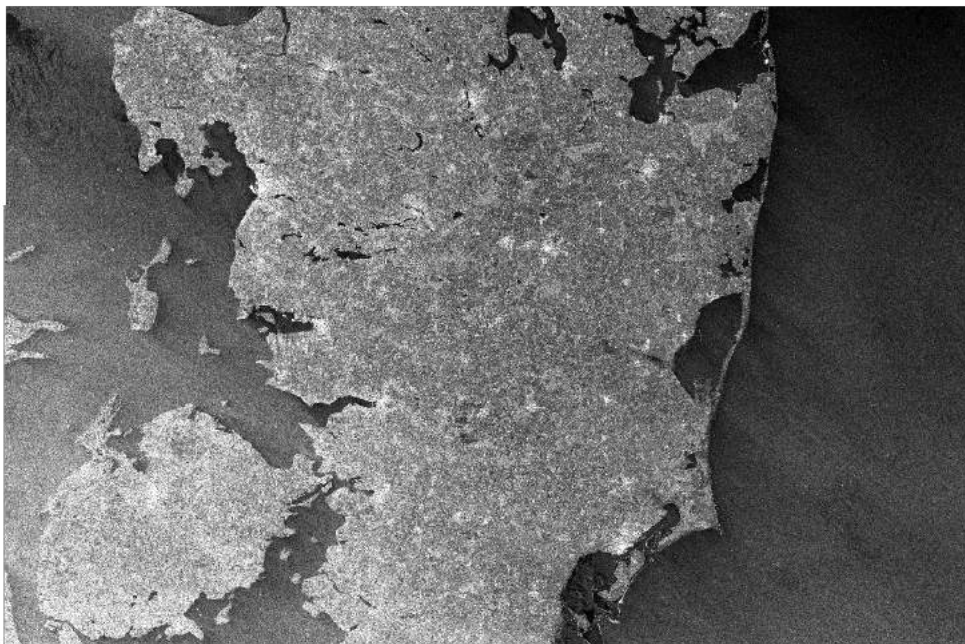


Figur 3.7. Procesdiagram for at omdanne SLC-satellitbilleder til GRD. Disse værktøjer har ESA selv anvendt på SLC-satellitbillederne, så brugeren kan hente produkterne direkte som GRD fra ESA, u.d.[b], hvor de tidligere viste forstyrrelser er fjernet.

Processen på figur 3.7 behøves dog ikke at blive gennemgået for hvert satellitbillede, da der igennem ESA, u.d.[b] kan hentes satellitbilleder som GRD-typen, så brugeren undgår denne del af forberedningsprocessen. GRD står for "Ground Range Detected", og indikerer altså, at SLC-billedet er omdannet fra slant afstand-geometri til ground afstand-geometri. Den sidste type af ESA's satellitbilleder er OCN, som er data bearbejdet af ESA, således, at billederne giver udledte informationer for havvand, eksempelvis vindhastigheder og

strømningshastigheder. Eftersom fokus i dette projekt er vand på landområder, anvendes GRD-typen til det videre arbejde.

På figur 3.8 ses et GRD-satellitbillede. Det første der lægges mærke til på billedet er, at det geografiske område er genkendeligt og, at der kan ses forskel på de forskellige typer af områder, såsom land og vand, hertil kan de større byer også tydes som samlinger af hvide områder, som resultat af double bounce. Herefter ses det dog hurtigt, at billedet er spejlvendt, altså at Danmark vender den *forkerte* vej. Dette er dog endnu et problem, der let løses i SNAP Desktop, ved at anvende værktøjet *Terrain-Correction*, hvor navnet indikerer, at værktøjet giver billedet en korrekt geografisk placering i forhold til terrænet. En beskrivelse af dette værktøj vil være at finde i afsnit 4.2 på side 40.



Figur 3.8. GRD-satellitbillede fra ESA, u.d.[b], der er et resultat af værktøjerne fra strukturdiagrammet på figur 3.7.

Satellitbilledet er nu klar til at blive anvendt til monitoreringskoncepterne i analysen. Næste kapitel vil bestå af en opsummering af rapportens første del, og derefter vil de to monitoreringskoncepter og to valideringsmetoder beskrives i detaljer i rapportens del 2.

Opsummering af Del 1

Som det er blevet belyst i del 1, er data på stor skala en sjældenhed når det gælder oversvømmelser i Danmark. Dette kan radarsatellitter hjælpe med at producere, da deres store afstand fra rummet til jorden gør, at de kan afdække regional- og global skala. Desuden har radarsatellitter fra ESA den fordel, at de leverer gratis og kontinuerlig data med en tilbagevendelsesperiode på seks dage, hvilket er attraktivt, da overflyvninger med fly og droner er omkostningsfuldt på stor skala og for hver oversvømmelse. Yderligere blev det belyst at optiske radarbilleder kræver både en lyskilde og helst en skyfri himmel, hvorimod radarsatellitter bruger egen lyskilde og kan indsamle data i alt slags vejr samt dag og nat. Dette gør, at radarsatellitter kan producere data for en given oversvømmelseshændelse under alle forhold.

Det blev nævnt i kapitel 3, at VV-polariseringen er den bedste polarisering at anvende til at kortlægge vand, på baggrund af hvordan mikrobølgerne reflekterer på vandets overflade. Yderligere vides det, at den dominerende backscatter-type på vand er specular reflection, hvilket betyder, at mikrobølgerne reflekteres væk fra satellitten, og derfor ses disse områder som mørke i radarbillederne. Dette gør det nemt at differentiere vand fra land i de fleste tilfælde. Der findes dog områder, der agerer på samme måde som vand. Som belyst i afsnit 2.2.3 vides det, at hvis en overflade har en tilpas lille overfladeruhed, vil der forekomme specular reflection, eller, at kun en lille mængde backscatter måles. På baggrund af dette, kan radarsatellitten altså overestimere oversvømmelsesområder til en vis grad, hvilket kan være problematisk på stor skala, da overestimeringen så vil være endnu større.

I kapitel 3 blev der givet et eksempel på hvordan rådata i form af SLC-billeder fra radarsatellitter kan se ud, samt hvordan det bearbejdes til et analyserbart billede. Dette analyserbare billede bliver kaldt GRD, og vil være produkttypen der arbejdes videre med i projektet for at kunne præcisere adskillelsen af vand fra land i billederne.

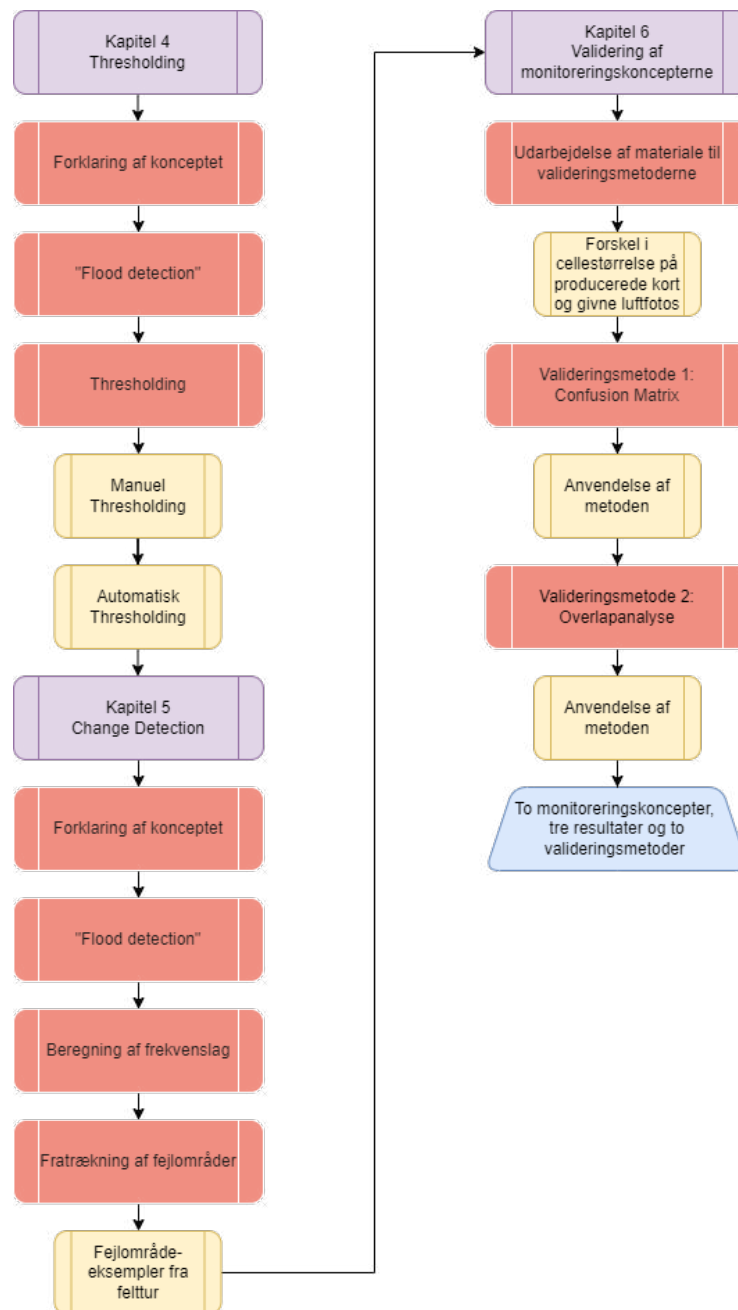
Dette vil være grundlaget for analysen i projektet; at korrigere radarsatellitbillederne på forskellige måder i form af monitoreringskoncepterne. Det første koncept vil omhandle at finde en optimal grænseværdi for hvad der er vand og hvad der ikke er, for på den måde at estimere oversvømmede arealer så præcist som muligt. Det andet koncept vil have fokus på at fjerne områder radarsatellitten *tror* er vand, men egentlig ikke er det. Dette gøres ved at anvende en tidsserie af radarbilleder for at bestemme hvilke områder satellitten ser som vand i hele tidsserien, og derfra fjerne områder, der ikke er vand i virkeligheden. Disse områder bliver senere refereret til som fejlområder.

Del 2: Monitoreringskoncepterne og valideringsmetoderne

I denne del af rapporten vil to monitoreringskoncepter og to valideringsmetoder introduceres. For hvert monitoreringskoncept og hver valideringsmetode er der udarbejdet et strukturdiagram, der har til formål at give en visuel repræsentation af arbejdsprocessen fra start til slut. Disse diagrammer bliver vist i de tilhørende koncept- og valideringsafsnit. På figur 3.9 ses et læsevejledningsdiagram over del 2, hvor de forskellige afsnit i del 2 er illustreret for at give et overblik over strukturen heri. Den lilla farve viser starten på hvert kapitel, den røde farve indikerer de større afsnit, den gule farve viser underafsnit og den blå farve indikerer resultatet af del 2. Først vil der gives en introduktion til hvert monitoreringskoncept, for derefter at gå i dybden med de enkelte metoder der er anvendt i monitoreringskoncepterne. Derefter introduceres de to valideringsmetoder.

I de to monitoreringskoncepter er arbejdsprocessen inddelt i en bruger- og en ekspertdel. Brugeren kan eksempelvis være en aktør i en kommune, der vil vide hvilke områder der er oversvømmede. I dette tilfælde ville det være muligt for den pågældende bruger, selv at udføre brugerdelen med minimal kendskab til radaregenskaber og værktøjerne i SNAP Desktop. Ekspertdelen dækker derimod over en længerevarende arbejdsproces, der skal til for at minimere eventuelle fejlestimeringer. I ekspertdelen indgår en lang række værktøjer både i SNAP Desktop og GIS, hvor kendskab til begge dele er nødvendig, for at være sikker på, at alle oversvømmelseskort bliver produceret med samme proces. Eksempelvis er fejlområde-kortlagene i koncept 2, kortlag, som eksperten producerer, og brugeren derefter kan anvende til at præcisere estimeringen af oversvømmelse.

Dernæst vil en gennemgang af to valideringsmetoder, der anvendes til at validere monitoreringskoncepterne være at finde. Heri vil der være en beskrivelse af metoderne og hvilke valg der foretages for at opnå validitet af konceptresultaterne. Disse to valideringsmetoder skal fungere som individuelle metoder med hver deres præcision, hvor en bruger kan vælge hvilken der skal anvendes alt efter hvilken grad af nøjagtighed der ønskes, da den første metode er mest nøjagtig, men også mest tidskrævende og omvendt for den anden valideringsmetode.



Figur 3.9. Læsevejledningsdiagram over del 2 af rapporten. Lilla er starten på hvert kapitel, rød er større afsnit, gul er underafsnit og blå er resultatet af del 2.

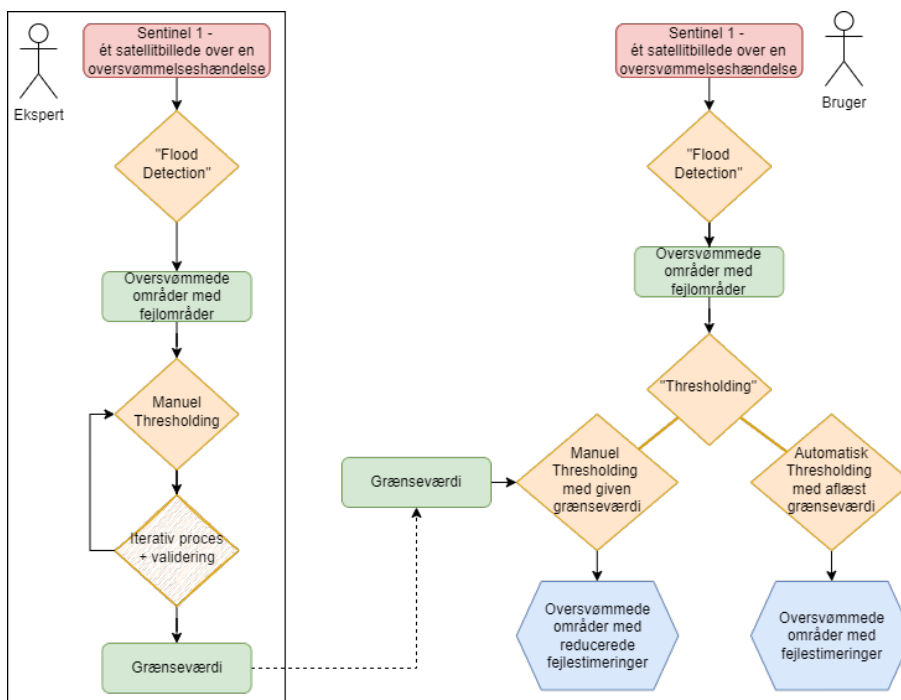
Thresholding 4

Dette kapitel vil indeholde en gennemgang af det første koncept. Thresholding-konceptet er den mest simple og hurtigste at udføre samt få resultater fra, men forventes at være den mindst nøjagtige af de to koncepter. Konceptet er delt op i en automatisk del og en manuel del, hvor den manuelle er mere tidskrævende, men også den mest præcise af de to. Automatisk Thresholding indebærer at aflæse en værdi, givet af programmet SNAP Desktop, der herefter anvendes som grænseværdi for, hvad der er vand og ikke er vand. Denne grænseværdi måles i decibel, dB, som er den værdi satellitbilleder oftest vises i. Manuel Thresholding indebærer, at brugeren vurderer hvilken grænseværdi, der vil være bedst at anvende ud fra test med en række forskellige grænseværdier. I dette tilfælde udvælges fire grænseværdier med et interval på 0,5 dB på hver side af den grænseværdi vurderet til at være en god generel grænseværdi af Martinis, 2017, som er -15 dB. Dette resulterer i ni forskellige grænseværdier fra -13 til -17 dB. Sammenlagt vil der så være 10 oversvømmelseskort fra hver orbit, ét fra Automatisk Thresholding og ni fra Manuel Thresholding.

4.1 Forklaring af konceptet

På figur 4.1 ses strukturdiagrammet over arbejdsprocessen i monitoreringskonceptet. Den sorte indramning viser den del af monitoreringskonceptet som kun en ekspert kan udføre, og den resterende del kan udarbejdes af en bruger. Desuden er diagrammet opdelt i figurer med dertilhørende farver, som også er ens for strukturdiagrammet for koncept 2: De grønne bokse er inputsdata (og output fra den metode de har været igennem), gule ruder er metoder, blå sekskanter er output og den røde boks er også inputsdata, men for oversvømmelseshændelsen d. 27-28 februar 2020. Resultatet af Manuel Thresholding i strukturdiagrammet er; "Oversvømmede områder med reducerede fejlestimeringer", altså et oversvømmelseskort, der forventes at indeholde et reduceret antal fejlestimeringer end kortlaget for Automatisk Thresholding. Der vil altså stadig være en vis mængde områder, der fejlestimeres som oversvømmede, da de alle ikke fjernes blot ved en ændring af grænseværdi. I de følgende afsnit vil de forskellige metoder blive gennemgået og forklaret, og herunder de valg, der foretages for at opnå det rette resultat, som kan bruges til at vise oversvømmelse.

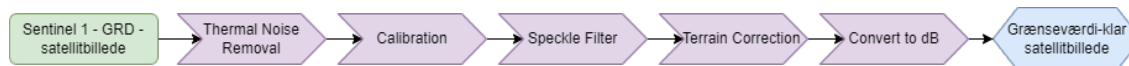
Thresholding



Figur 4.1. Strukturdiagram over arbejdsprocessen i Thresholding-konceptet. Opdelt i en bruger- og ekspertdel. Størrelsesforskel mellem samme type kasse har ingen betydning. Rød er inputdata for oversvømmelseshændelsen, gul er metoder, grøn er inputdata og blå er resultaterne. Gul streg fra "Thresholding" til Manuel- og Automatisk Thresholding, indikerer, at de sidstnævnte er en del af "Thresholding" metoden.

4.2 "Flood Detection"

"Flood Detection" metoden indebærer at bearbejde satellitbillederne i SNAP Desktop for at få et resulterende kortlag, der viser størrelsen på backscatter-værdierne i området, således, at grænseværdier kan anvendes til at differentiere vand fra land. Procesdiagrammet på figur 4.2 viser, i kronologisk rækkefølge, hvordan "flood detection" metoden udføres. Den grønne boks er inputsdata, lilla bokse er værktøjer i SNAP Desktop og den blå boks er resultatet.

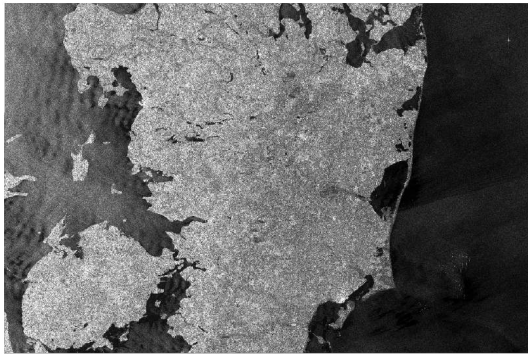


Figur 4.2. Procesdiagram for metoden "Flood Detection" med værktøjer fra SNAP Desktop. Grøn er input i form af et GRD-satellitbillede, lilla er værktøjerne i SNAP Desktop og blå er resultatet.

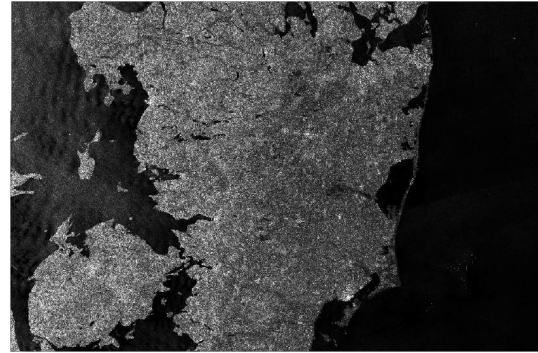
Det resulterende grænseværdi-klar satellitbillede, har en mere klar opdeling mellem land og vand og kan herefter analyseres for at isolere oversvømmede områder fra ikke-oversvømmede områder.

Følgende billedserie viser resultaterne af bearbejdelsestrinene i "flood detection" af satellitbillederne. Satellitbilledet er fra d. 27. februar 2019. De individuelle billeder er

i større udgave i appendiks A4 på side 117. De forskellige trin fra diagrammet, og resultaterne, der ses fra dem i billedserien, vil blive beskrevet kort i de følgende delafsnit. Det vil derfor ikke være en dybdegående beskrivelse af de enkelte trin, men i stedet gives der nogle nøgleord, der kan bruges til at finde yderligere information om dem, hvis det ønskes. Det første billede på figur 4.3 viser et GRD-satellitbillede hentet fra ESA's Copernicus data-hub: ESA, u.d.[b]. Dette satellitbillede har ikke undergået nogle af trinene i "flood detection" metoden endnu.



Figur 4.3. Sentinel 1 GRD-billede fra d. 27. februar 2019 fra ESA, u.d.[b].



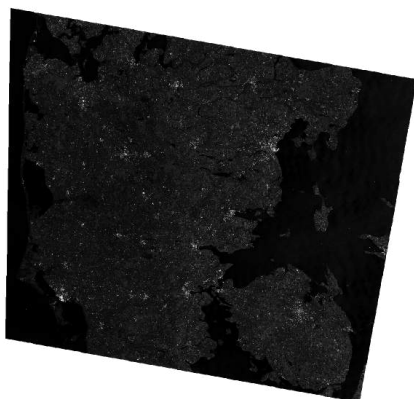
Figur 4.4. Satellitbillede efter anvendelse af trin 1: Thermal Noise Removal-værktøjet i SNAP Desktop.



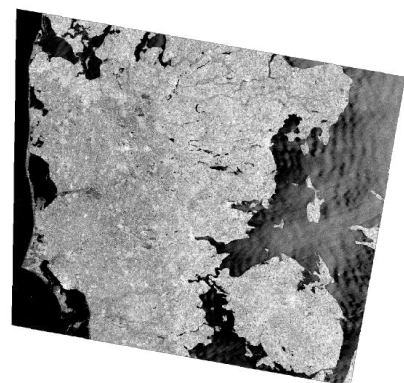
Figur 4.5. Satellitbillede efter anvendelse af trin 2: Calibration-værktøjet i SNAP Desktop.



Figur 4.6. Satellitbillede efter anvendelse af trin 3: Speckle-Filter-værktøjet i SNAP Desktop.



Figur 4.7. Satellitbillede efter anvendelse af trin 4: Terrain Correction-værktøjet i SNAP Desktop.



Figur 4.8. Satellitbillede efter anvendelse af trin 5: Convert to dB-værktøjet i SNAP Desktop.

Thermal Noise Removal

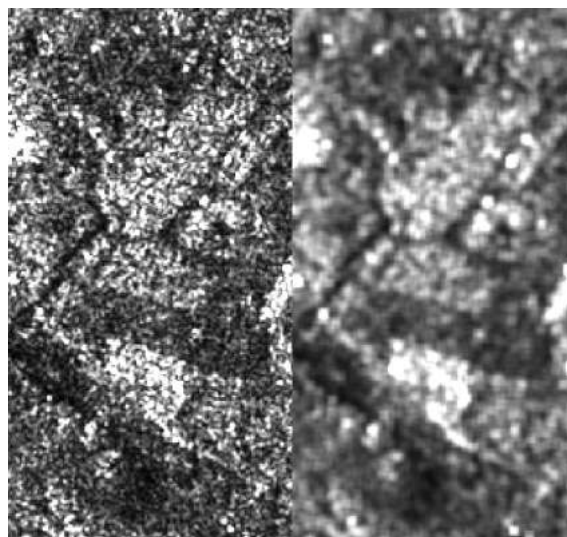
Det første trin i "Flood Detection" er at køre værktøjet *Thermal Noise Removal*. Dette værktøj anvendes til at reducere støj i satellitbilledet, der kan forekomme som resultat af, at satellitten sender signaler i de såkaldte sub-swaths, som blev beskrevet i afsnit 3.3 på side 29. Det er ikke samme type støj, altså de vertikale linjer tilbage på SLC-billedet i kapitel 3, der bliver fjernet med dette værktøj. Det er derimod hovedsageligt støj der kan forekomme i kanterne af de områder bursts sendes imod. Det kan også være støj, der kan forekomme ved anvendelse af satellitbilleder med krydspolarisering, hvilket dog ikke er tilfældet i dette projekt, da der anvendes VV-polarisering. Resultatet af værktøjet er vist på figur 4.4. På figuren ses det umiddelbart, at farverne er mørkere efter anvendelse af værktøjet. Dette sker, da værdierne i cellerne omregnes fra amplitude til intensitet i værktøjet, hvor intensiteten er lig amplituden kvadreret.

Calibration

Andet trin i metoden er at kalibrere cellernes værdier til værdier, der viser mængden af backscatter ved hjælp af værktøjet *Calibration*. Værktøjet beregner den såkaldte sigma0-værdi for hver celle, hvilket er en værdi der direkte kan aflæses som styrken af backscatter. Der ses ikke en tydelig ændring i det resulterende billede på figur 4.5.

Speckle-Filter

Tredje trin er anvendelsen af *Speckle-Filter*-værktøjet til at fjerne støj i satellitbillederne. Værktøjet fungerer som en interpolation af cellerne i satellitbillederne. Støjen forekommer i form af små "korn" på satellitbilledet. På figur 4.9 vises et eksempel på hvordan disse "korn" kan se ud i venstre side af figuren, mens højre side viser resultatet af værktøjet *Speckle-Filter*.



Figur 4.9. Speckle eksempel, hvor venstre side er inden brug af Speckle-Filter værktøjet og højre side er efter brug af værktøjet. Speckle-Filter er endnu en måde at fjerne speckles på, ligesom multilook fra tidligere.

Figuren viser, at produktet fra Speckle-Filter-værktøjet lader til at forværre opløsningen af billedet, eftersom billedet bliver sløret. Det kan dog stadig være fordelagtig at anvende værktøjet, da den reducerer støj, der kan give et skævt resultat i estimeringen af

oversvømmede områder. Hvis det undersøgte område er lille, vil værktøjet ifølge Filipponi, 2019 muligvis forværre resultatet, dette er dog ikke tilfældet for projektområdet i dette projekt.

Årsagen til at disse "korn" opstår, er på baggrund af interferens fra tilbagevendende radarsignaler fra en lang række objekter, som beskrevet i nedenstående citat:

"Speckles are caused by random constructive and destructive interference of the de-phased but coherent return waves scattered by the elementary scatters within each resolution cell."

[ESA, u.d.(d)]

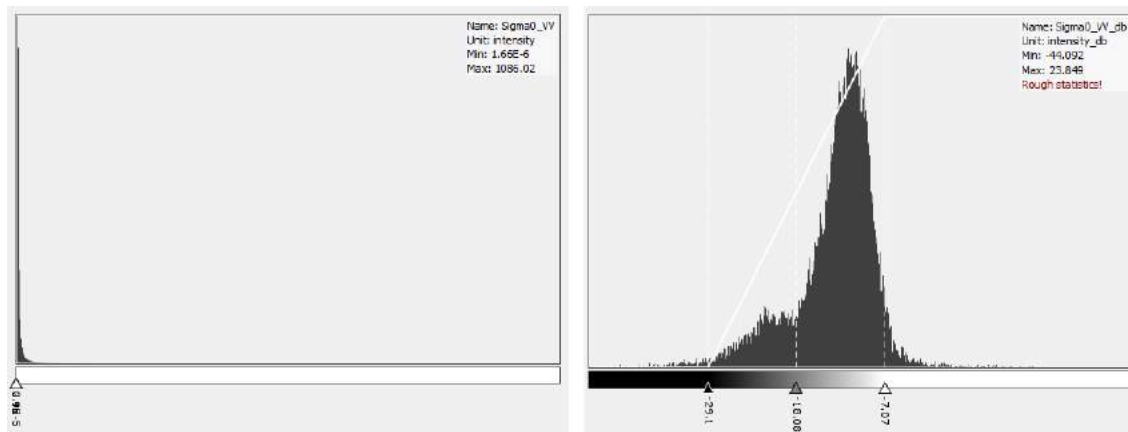
Det kan altså være fordelagtigt at anvende Speckle-Filter-værktøjet for at undgå sådanne forstyrrelser i billederne. I værktøjet kan der anvendes en række forskellige filtre, eksempelvis *Frost*, *Gamma Map* og *Lee*. Hver af disse filtre indeholder en algoritme der producerer en slags interpolation af cellerne, hvor der udover filter-typen kan vælges hvor mange celler, der skal bruges til at interpolere hver enkelte celle. Mansourpour et al., 2006 har fundet frem til at filtret *Lee* med en filterstørrelse på 5x5 celler i de fleste tilfælde giver det bedste resultat, og derfor anvendes dette filter, samt filterstørrelse til de anvendte satellitbilleder i projektet. Tilbage på figur 4.6 i billedserien vises der ikke en tydelig forskel efter anvendelse af værktøjet, da det kun er tydeligt når der zoomes ind.

Terrain Correction

Det næstsidste trin i metoden er at anvende *Terrain Correction*-værktøjet til at placere satellitbilledet korrekt i forhold til områdets geografiske placering. Hertil anvendes en terrænmodel, som i dette tilfælde er SRTM (1 arcsec), der er udarbejdet med satellitbilleder (ikke Sentinel), og har en opløsning på 30 m (1 arcsec er lig 30 m). Der kan også anvendes et terrænkort med en større opløsning, men da det forsøges, at gøre arbejdsprocessen så hurtig og nem som muligt, anvendes et kort med lavere opløsning, som desuden er frit tilgængeligt. I Danmark har Styrelsen for Digitalisering og Infrastruktur, SDFI, produceret et terrænkort med en opløsning på 0,4 m. Dette kort har dog en betydelig datamængde, og vil derfor forlænge bearbejdningstiden for metoden betydeligt. Desuden vides det ikke om et terrænkort med en markant højere opløsning, vil give en markant højere præcision af det resulterende oversvømmelseskort. *Terrain Correction* er det værktøj, der giver den mest tydelige forskel i satellitbillederne, hvilket er vist tilbage i billedserien på figur 4.7, da Jylland nu vender den *rigtige* vej.

Convert to dB

Til sidst konverteres cellernes backscatter-værdier til dB vist på figur 4.8 i billedserien, hvor der ses en tydelig forskel i farverne. Konverteringen udføres, da der er stor forskel på størrelsen af backscatter-værdierne i forskellige områder, hvilket gør det besværligt at finde den rigtige grænseværdi. Forskellen på "normale" værdier og dB-værdier kan ses i graferne på figur 4.10. Konverteringen til dB har derved medført, at et histogram for satellitbillederne nu kan ses, og grænseværdier kan nu findes og anvendes til at differentiere vand fra land. Nu kan "Flood Detection" kortlagt anvendes videre i Thresholding-metoden, som vil blive beskrevet i næste afsnit.



Figur 4.10. Forskellen på histogrammet for værdier vist i intensitet til venstre og i en logaritmisk skala i dB til højre.

4.3 Thresholding

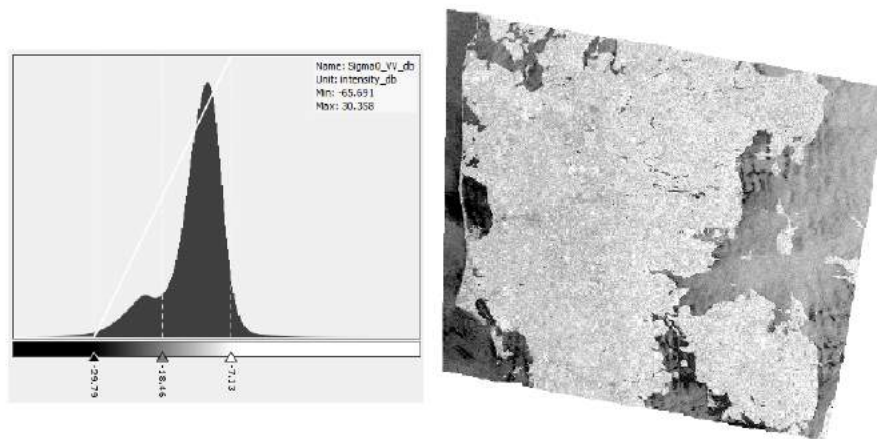
Dette afsnit vil indeholde en gennemgang af "Thresholding" delen af konceptet, herunder både Manuel- og Automatisk Thresholding. Som nævnt er Manuel Thresholding den mest tidskrævende metode af de to, men forventes også at være den mest præcise. Derfor skal der tages stilling til, hvilken af dem der vælges at anvende for en eventuel oversvømmelseshændelse; om det ønskes at have en god præcision eller om et hurtigt oversvømmelseskort er at foretrække.

4.3.1 Manuel Thresholding

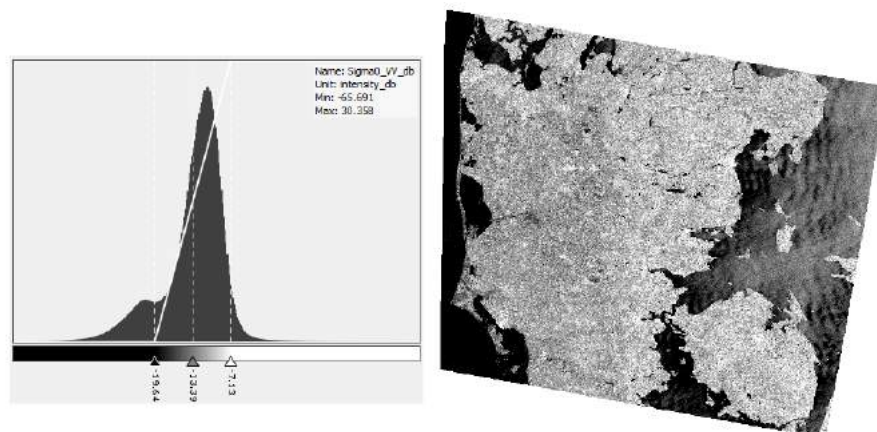
Manuel Thresholding kræver en ekspert til at finde den mest optimale grænseværdi. Desuden kan en optimal grænseværdi for ét område, være en dårlig grænseværdi for et andet område, da det afhænger af flere parametre på overfladen, som beskrevet i del 1. Det er altså en proces, der skal forekomme på ny for hvert område, hvilket muligvis ikke er favorabel på baggrund af det tidskrævende aspekt af metoden. Det vurderes, at den samme fundne bedste grænseværdi for ét område, kan anvendes fremover i det samme område. Derved er processen hurtigere for fremtidige hændelser. Dog skal grænseværdien "opdateres" hvis der sker betydelige ændringer i topografien og andre af de nævnte parametre i del 1 i området. Som nævnt vil der blive lavet en test af ni forskellige grænseværdier for at vurdere, hvilken der er bedst at anvende for oversvømmelseshændelsen. Disse ni grænseværdier har et interval på 0,5 dB mellem -13 og -17 dB. Oversvømmelseskortlagene med disse grænseværdier produceres ved hjælp af værktøjet *Band Maths* i SNAP Desktop, men kan også laves med eksempelvis *Raster Calculator* i ArcGIS Pro eller et lignende værktøj i andre GIS-programmer. Celler med backscatter værdier over de omtalte grænseværdier gives en ny værdi på 0, da de klassificeres som land, og celler under grænseværdien får en ny værdi på 1 for vand. Resultatet er således et kortlag med to forskellige værdier, som derved kan anvendes som oversvømmelseskort.

4.3.2 Automatisk thresholding

I Automatisk Thresholding aflæses en grænseværdi i programmet SNAP Desktop, men kan også aflæses i GIS-programmer, eller andre programmer der kan vise kort og beregne statistik, hvilket gør det nemmere for brugeren selv at lave denne del af arbejdsprocessen, der anvendes for at finde hvornår de enkelte celler i satellitbilledet er oversvømmede eller ikke er. Denne grænseværdi aflæses i et histogram programmet genererer, hvor den automatiske grænseværdi er den laveste værdi mellem to "toppe" i histogrammet. Grunden til dette er, at værdierne for vand, som tidligere nævnt, generelt er lave på grund af specular reflection, mens andre værdier generelt er høje. Derfor er der ofte to toppe i histogrammet. Forskellen mellem at have en grænseværdi før de to toppe og en grænseværdi i midten af de to toppe, kan ses på figur 4.11 og 4.12. Dette viser, at hvis grænseværdien er til venstre for begge toppe, vises en stor andel af vandet som en lysere farve, og derved er det besværligt at differentiere vand fra land. Derimod vil en grænseværdi mellem de to toppe medføre, at vandet bliver mørkt og derfor vil være lettere at differentiere imod land.



Figur 4.11. Eksempel på hvordan et satellitbillede ser ud med grænseværdien før de to toppe. Satellitbillede fra ESA, u.d.[b] fra d. 27-02-2019. Det ses, at vandet er mere støjfyldt.



Figur 4.12. Eksempel på hvordan et satellitbillede ser ud med grænseværdien mellem de to toppe. Satellitbillede fra ESA, u.d.[b] fra d. 27-02-2019. Vandet omkring Jylland er blevet betydeligt mørkere og der kan differentieres lettere mellem land og vand.

Efter grænseværdien er fundet, bliver cellerne, med værdier over og under grænseværdien, givet en ny værdi; enten 0 for land eller 1 for vand, ligesom ved Manuel Thresholding, ved brug af Band Math-værktøjet. Fordelen ved Automatisk Thresholding er, at grænseværdien er hurtig og nem at aflæse, hvilket er meningen med denne delmetode af Thresholding. Derved kan metoden hurtigt give et oversvømmelseskort til brugeren.

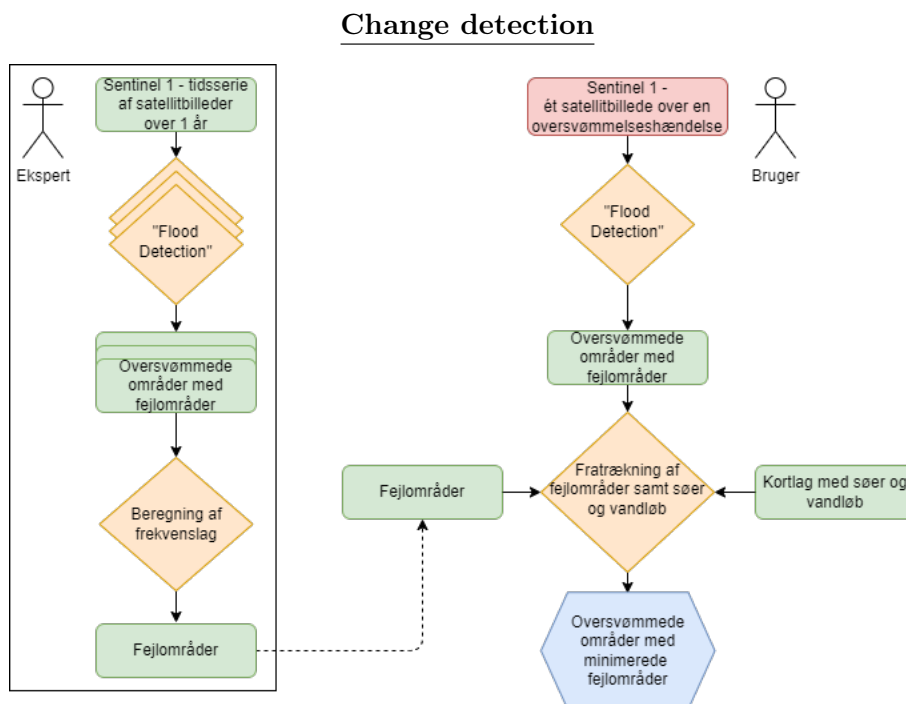
I dette kapitel vil det andet monitoreringskoncept *Change Detection* blive introduceret, og herunder de enkelte trin der foretages i anvendelsen af konceptet. Grundprincippet i fremgangsmåden for dette koncept er at bruge en tidsserie af satellitbilleder til at give informationer om hvilke typer områder, der kan fejlbedømmes som oversvømmede områder. Disse områder kan være områder, der opfylder forhold, som gør, at områderne ligner vand. Eksempler på sådanne forhold kan være, at ruheden i et område er lav, og derfor opstår der specular reflection, som beskrevet i kapitel 2. Det resulterende fejlområde-kortlag vil kunne anvendes ved fremtidige oversvømmelseshændelser, til at undgå en eventuel overestimering af oversvømmelsesramte områder, ved at trække dette fejlområde-kortlag fra oversvømmelseskortene.

Fremgangsmåden i dette koncept har taget inspiration fra Martinis, 2017 og Martinis et al., 2018, som begge har arbejdet med tidsserier og det at anvende et frekvenslag for at fjerne fejlområder. De to kilder har dog arbejdet i områder, som er meget forskellige i forhold til projektområdet i dette projekt. I kilderne blev der arbejdet i golde ørkenområder, hvor det var hensigten at fjerne sandområder, der blev vist som oversvømmelser. Det er derimod hensigten i dette projekt at fjerne en række forskellige typer af områder i et andet klima, som samtidig også er betydeligt mindre områder arealmæssigt. Eftersom der tages inspiration fra Martinis, 2017, og der allerede deri er fundet den mest optimale klasse at anvende: 70-100%, vil der i dette projekt anvendes én ekstra klasse på hver side for at undersøge om forskellen i klima og de andre forhold i Danmark, har en indflydelse på hvilken klasse der er bedst. Derfor anvendes klasserne 60-100%, 70-100% og 80-100%. Desuden anvendes grænseværdien -15 dB også, da den vurderes af samme kilde at være en generel god grænseværdi for de fleste satellitbilleder til at finde vand. Disse valg er nødvendige, da datamængden vil blive for stor, hvis alle forskellige dele af processen skal testes for forskellige grænseværdier og klasser.

5.1 Forklaring af konceptet

Change Detection er et monitoreringskoncept, hvis funktion er at finde ændringen over tid (tidsserie) mellem satellitbilleder. Eftersom Sentinel 1 satellitterne tilsammen har en tilbagevendelsesperiode på omkring seks dage, giver dette koncept en god mulighed for at undersøge oversvømmelser med tidsserier. I projektet undersøges oversvømmelseshændelsen d. 27-28 februar 2020, derfor vælges tidsserien over et år for år 2019, da eventuelle ændringer i topografi og lignende siden år 2020 kan have påvirket den mængde backscatter, der ses i området. Arbejdsprocessen i dette koncept er visualiseret på strukturdiagrammet på figur 5.1, hvor grønne og røde bokse igen er inputsdata, gule

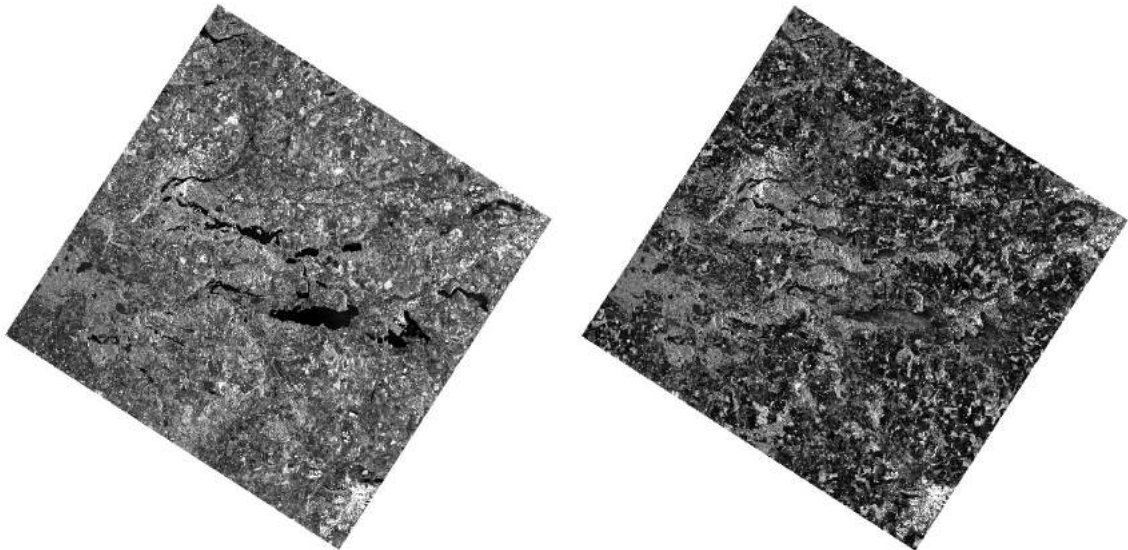
ruder er metoder og den blå boks er resultatet. De forskellige elementer i diagrammet vil blive beskrevet i dette kapitel.



Figur 5.1. Strukturdiagram over arbejdsprocessen i konceptet. Opdelt i en bruger- og ekspertdel. Størrelsesforskellen mellem samme type kasse har ingen betydning. Rød er inputdata for oversvømmelseshændelsen, gul er metoder, grøn er inputdata og blå er resultaterne.

Grundprincippet i dette koncept er den samme som for første koncept, da der også her anvendes en grænseværdi for hvad der er vand og hvad der ikke er. I dette koncept introduceres der dog et trin ekstra i form af fejlområde-kortlaget. Dette introduceres, da enkelte typer af områder, vises som oversvømmede uden at være det, hvilket sker hvis de rigtige forhold er til stede. På baggrund af dette anvendes fejlområde-kortlaget til at fjerne sådanne områder, hvorved estimeringen af oversvømmede områder forventes at blive forbedret i forhold til første koncept.

Fejlmråde-kortlaget er baseret på en tidsserie af satellitbilleder over ét år, som skal vise hvilke områder der fejlfortolkes som oversvømmede. Ved anvendelse af en tidsserie over ét år kan der dog forekomme "fejl" i fejlområde-kortlaget på baggrund af sæsonvariationer. Disse sæsonvariationer kan forekomme som resultat af eksempelvis en vinter- og en sommermark, hvor jorden henholdsvis forekommer uden og med afgrøder. Det kan desuden ske som resultat af løvspring i foråret eller variationen af nedbør over året [Verbesselt et al., 2010]. Resultatet af disse fejl, kan være at visse områder ses som oversvømmet 100% af én årstid, men ikke resten af året, og disse områder vil således kun være en del af fejlområde-kortlaget, hvis procentklassen 25-100% anvendes.



Figur 5.2. Bearbejdede satellitbilleder fra d. 27 februar 2019 og d. 27 juni 2019, der viser sæsonvariation i form af en generelt mørkere farve på billedet til højre.

På figur 5.2 vises to satellitbilleder fra henholdsvis d. 27 februar 2019 og d. 27 juni 2019, hvor der ses en tydelig forskel på en stor del af områderne. Denne forskel forekommer som resultat af det ovenstående omkring nedbør og afgrøder, samt de beskrevne egenskaber for radar i afsnit 2.

For at finde de områder, som bliver fejlfortolket af radarsatellitten, bliver tidsserien summeret sammen til et frekvenslag. Dette frekvenslag indeholder de områder som er vand og de områder der *ligner* vand. Disse områder inddeles i procentklasser, som viser om området estimeres som vand på eksempelvis 10% af alle satellitbillederne eller helt op til 100%. De anvendte klasser produceres ud fra dette frekvenslag.

Metoderne i strukturdiagrammet for Change Detection der er anvendt for at producere dette fejlområde-kortlag, samt de resulterende oversvømmelseskort, vil blive beskrevet i de følgende afsnit.

5.2 "Flood Detection"

For tidsserierne af satellitbillederne skal der anvendes samme forbejdningstrin, som blev anvendt for første koncept *Thresholding*, der blev beskrevet i afsnit 4.2 på side 40. For at gøre processen nemmere anvendes *Graph Builder* og *Batch Processing* i SNAP Desktop. Disse værktøjer gør det muligt at anvende de nævnte værktøjer fra "Flood Detection" i *Thresholding*-konceptet i samme rækkefølge og for alle satellitbillederne på én gang og derved undgå tastefejl.

5.3 Beregning af frekvenslag

Efter alle satellitbillederne er bearbejdet, kan beregningen af frekvenslaget foretages. Først og fremmest anvendes *Band Math* til at danne et nyt kortlag for hver af satellitbillederne,

der giver hver celle en værdi på 1 eller 0. Værdien 1 gives til celler, der har en værdi under -15 dB, mens 0 værdien gives til cellerne der ligger over denne grænseværdi.

Efterfølgende summeres alle satellitbillederne, som resulterer i et kortlag, hvor hver celle har en værdi, der fortæller hvor mange af satellitbillederne i tidsserien de har været estimeret som oversvømmet på. Hertil omregnes der til en procentvis oversvømmelse af året 2019, ved igen at anvende *Band Maths*. Den procentvise oversvømmelse inddeles yderligere i 10 klasser, hvor hver klasse er 10%.

5.4 Fratrækning af fejlområder

Denne metode består af at fjerne det producerede fejlområde-kortlag fra oversvømmelses-hændelsen. Måden hvorpå dette gøres er at udvælge alle de celler i oversvømmelseskortene, der har en værdi i de bestemte klasser. Eksempelvis vælges alle celler med en værdi lig eller over 60 for klassen 60-100%, og det er disse resulterende kortlag, der anvendes til at fjerne fejlområder fra oversvømmelseskortene for oversvømmelseshændelsen d. 27-28 februar 2020.

For fejlområde-kortlagene kan der opstå en fejlestimering af permanente vandområder, alt efter hvilke og hvor mange af de nævnte klasser, der vælges at medtage. Denne fejlestimering kan opstå på baggrund af, at fejlområde-kortlagenes udstrækning ikke alle steder vises ved permanente søer og vandløb, hvilket kan være grundet eksempelvis vegetation i vandkanten i bestemte sæsoner eller andre forhold, som beskrevet i kapitel 2. Et eksempel på dette kan ses på figur 5.3. Her ses det, at fejlområde-kortlaget, vist som de røde områder, ikke finder alt det permanente vand.



Figur 5.3. Eksempel på, at fejlområde-kortlaget ikke finder alt permanent vand. Baggrundskort fra SDFI, u.d.[b]. Årsagen til det, kan eksempelvis være sæsonvegetation i vandkanten, der gør, at satellitten ikke ser vand i hele tidsserien over året.

Derfor vælges det at inkludere et kortlag med søer- og vandløbspolygoner fra GeoDanmark fra SDFI, u.d.[c], til at supplere fejlområde-kortlaget. Dette vil resultere i, at satellitbilledet over oversvømmelseshændelsen vil blive fratrukket med både fejlområde-kortlaget og kortlaget med søer og vandløb, i et forsøg på at minimere yderligere fejlestimeringer. Dette

gør sig desuden også gældende for Thresholding-konceptet, og vil blive beskrevet yderligere for begge koncepter i afsnit 6.1.

5.4.1 Fejlmråde-eksempler fra felttur

Efter udarbejdelsen af fejlområde-kortlagene er der fundet frem til forskellige typer af områder, der er dominerende i kortlagene. Disse områder findes flere steder inden for projektområdet og omegn, og i dette afsnit vil der gives eksempler på områderne i form af billeder taget på en felttur. De viste fejlområder er for orbit 66 med alle tre anvendte klasser, og de viser derfor områder, der af satellitten ses som oversvømmet på mindst 60% af satellitbillederne i tidsserien.

Fejlmråderne opstår i områder der har de rette forhold som beskrevet i kapitel 2. Disse forhold er overfladeruheden, incident vinklen og den dielektriske konstant. Eksempler på fejlområder fra projektområdet og omegn vil gives i det følgende.



Figur 5.4. Billede fra felttur til venstre af asfalteret område ved en grusgrav og fejlområder med rød ved samme lokalitet til højre, der ses som resultat af en lav overfladeruhed.

Det første billede på figur 5.4 er et stort asfalteret område ved en grusgrav, hvor der til højre er vist tre fejlområder, som alle er asfalt og/eller grus i forskellige størrelser. Grunden til, at asfalt her ses som vand, vurderes at være som resultat af dets lave overfladeruhed.

Figur 5.5 viser en græsmark, der i stor grad også vises som fejlområde, hvilket er grundet områdets lave overfladeruhed. Fejlmråder på marker ses ofte i fejlområde-kortlagene, og kan være grundet en lang række forskellige jordforhold eller andre forhold, herunder overfladeruheden, og det vil kræve en yderligere undersøgelse for at finde frem til den præcise årsag.



Figur 5.5. Billede fra felttur til venstre af græsmark og fejlområder med rød ved samme lokalitet til højre, der ses som resultat af en lav lokal højdeforskel i græsset og deraf lav overfladeruhed.

På figur 5.6 ses en landingsbane for svævefly som giver fejlområder. Her er det igen overfladeruheden, der får området til at ligne vand, da græsset var finklippet således, at ruheden er tilpas lav til, at radarsatellitten ser det som vand.



Figur 5.6. Billede fra felttur til venstre af en landingsbane til svævefly og fejlområder med rød ved samme lokalitet til højre.

Det sidste eksempel er en solcellepark, som kan ses på figur 5.7. Dette område fejlfortolkes på grund af specular reflection, da solcellerne står i en vinkel, der får mikrobølgerne til at reflektere væk, og derfor er der næsten intet backscatter. Grunden til, at hele området med solceller ikke ses som fejlområder, kan være at det bakkede areal der var i området, har gjort således at nogle af mikrobølgerne *ikke* reflekterer væk.



Figur 5.7. Billede fra felttur til venstre af solceller og fejlområder med rød ved samme lokalitet til højre, der ses som resultat af specular reflection på grund af solcellernes orientering mod radarsatellitten.

En sidste type område der ofte ses som vand af radarsatellitter er golfbaner. Grundet manglende tid (og dyr benzin) på feltturen lykkedes det ikke at få et fysisk billede af en af disse golfbaner, men i stedet gives et billede af et kort med én af de mange golfbaner, der har været i omegnen af projektområdet. Dette ses på figur 5.8. Denne golfbane er ikke med i fejlområde-kortlagene for analysen, da den ligger i det skæve luftfoto omkring Skanderborg Sø. Grunden til, at næsten alle golfbaner vises som fejlområder er de typiske meget tætklippede græsplæner (især Greenen tæt ved hullerne) på banerne, som giver en lav overfladeruhed.



Figur 5.8. Eksempel på én af mange golfbaner, der ses som vand af radarsatellitter. Disse ses som resultat af en lav overfladeruhed, da græsset er tætklippet, og især er Greenen på golfbaner meget tætklippet.

Validering af monitoreringskoncepterne

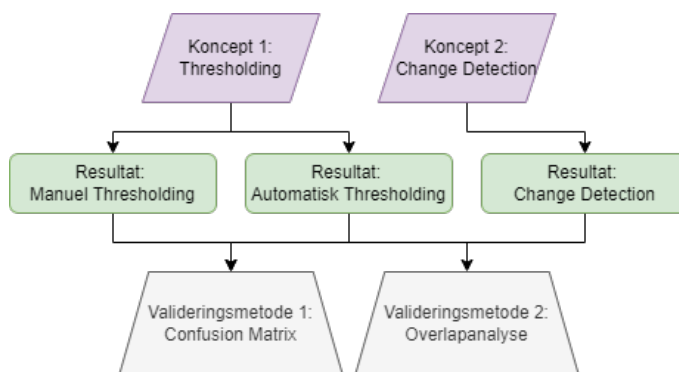
6

I de forrige kapitler er de to monitoreringskoncepter blevet gennemgået. For at finde ud af om koncepternes resultater er troværdige, vil valideringsmetoden *Confusion Matrix* blive anvendt. Denne valideringsmetode vil anvendes til at bestemme hvilket monitoreringskoncept, der giver det bedste resultat, og derfor også er den bedste til at kortlægge oversvømmelse. Derudover vil der anvendes en anden valideringsmetode, *Overlapanalyse*, som er mindre præcis, men hurtigere at gennemføre.

I dette kapitel vil valideringsmetoderne, samt hvilke valg der er foretaget undervejs i processen, blive gennemgået. For koncepterne er der også en forskel i det tidsmæssige aspekt, da Thresholding-konceptet er hurtigere at gennemføre, men forventes også at være mindre præcis i forhold til Change Detection-konceptet. Denne forskel bliver også anvendt i valideringsmetoderne, hvor valideringsmetode 1: Confusion Matrix er langsommere at gennemføre, men også mere præcis end valideringsmetode 2: Overlapanalyse. Begge disse valideringsmetoder anvendes for at undersøge om hele arbejdsprocessen kan gøres hurtigere, men stadig ende med samme konklusion af hvilket koncept, der er den bedste.

For at gøre processen nemmere og hurtigere for projektgruppen, er der udarbejdet modeller i et GIS-program, her ArcGIS Pro, som kun har brug for input i form af de færdige oversvømmelseskort fra monitoreringskoncepterne. Disse modeller har til formål at automatisere processen, hvilket har været nødvendigt på baggrund af det høje antal af oversvømmelseskort der skal valideres. Igennem denne proces har det været nødvendigt at anvende en lang række GIS-værktøjer, da kortene ofte skal konverteres til en anden datatype for at kunne blive bearbejdet i de anvendte værktøjer til valideringsmetoderne. I forbindelse med dette er de anvendte modeller i GIS eksporteret som Python kode, der for læseren, som kender til Python i ArcGIS Pro, er vist i appendiks A4 på side 121 (uden forklarende tekst i koden).

Figur 6.1 viser et simpelt strukturdiagram over hovedelementerne i del 2. Det starter med to monitoreringskoncepter, de lilla parallelogrammer, der producerer tre forskellige resultater; de grønne bokse. Derefter skal resultaterne valideres af to forskellige valideringsmetoder, de grå trapezer, først Confusion Matrix, for at finde det bedste monitoreringskoncept, derefter med Overlapanalysen, for at undersøge om de samme nøjagtigheder kan findes. Monitoreringskoncepterne og deres dertilhørende strukturdiagrammer er blevet gennemgået i kapitel 4 og 5, og valideringsmetodernes strukturdiagrammer vil blive gennemgået senere i dette kapitel.

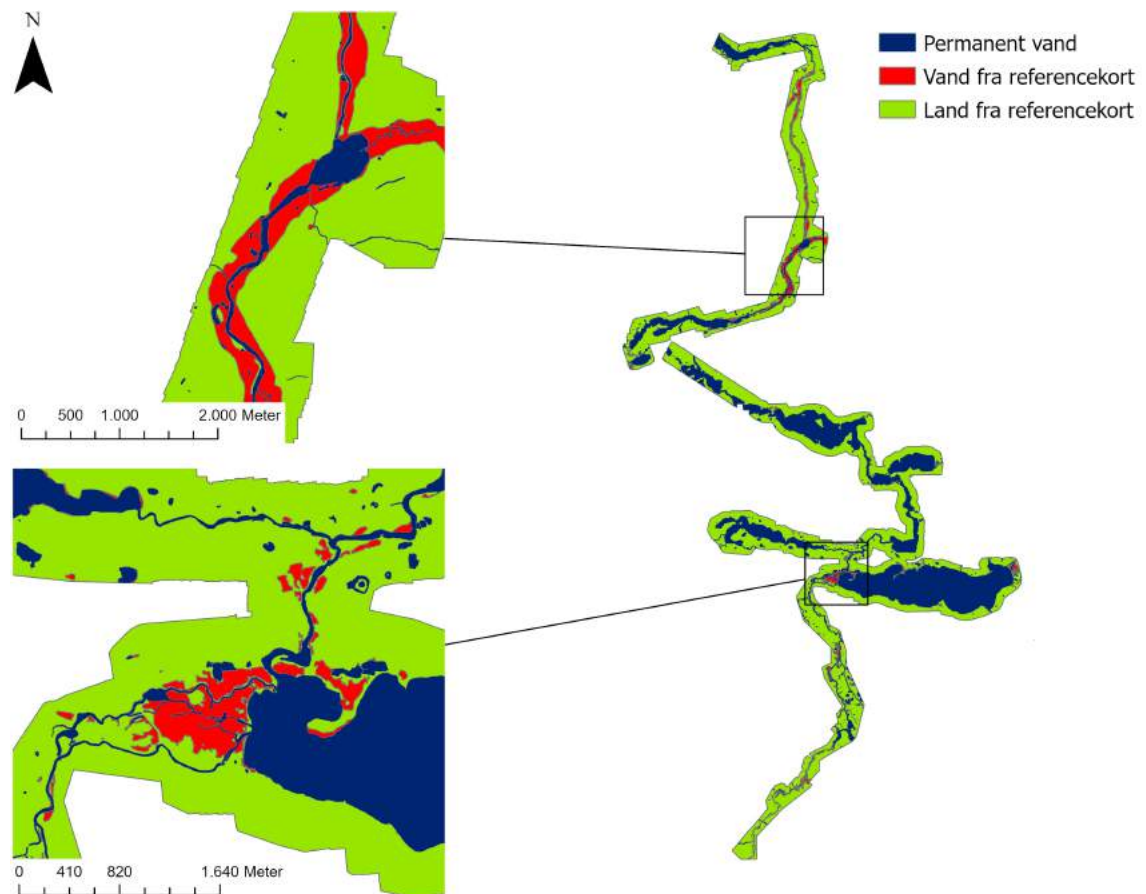


Figur 6.1. Strukturdiagram over overgangen fra monitoreringskoncept til valideringsmetode. Lilla er monitoreringskoncepterne, grøn er resultaterne af dem og grå er valideringsmetoderne.

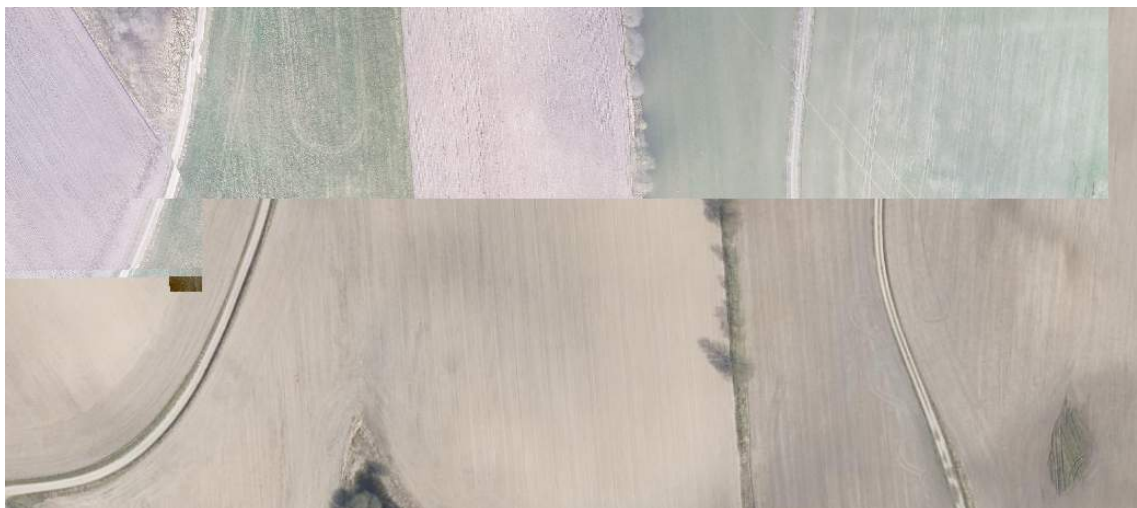
6.1 Udarbejdelse af materiale til valideringsmetoderne

Til at validere resultaterne af monitoreringskoncepterne kræves der et referencekort, som er et kort, der viser det "rigtige" vand og land. For at lave referencekortet er de givne luftfotos af oversvømmelsen d. 27-28 februar 2020 med en cellestørrelse på 7x7 cm vist på 1.4 på side 5, blevet brugt til at optegne hændelsen. Med undtagelse af de områder som Sentinel 1 satellitterne ikke kan "se", hvilket er vand under eksempelvis træer og broer. Optegningen har et areal på 94,483 km² og består af land med et areal på 89,111 km² og alle de oversvømmede områder med et areal på 5,371 km², og deraf ikke de permanente vandområder, søer og vandløb, der har et areal på 43,30 km². På figur 6.2 er områderne; land fra referencekort, oversvømmede områder fra referencekort og permanente vandområder, i form af søer og vandløb fra SDFI, u.d.[c], vist.

Ved en gennemgang af de givne luftfotos blev det fundet, at et af luftfotoene over Skanderborg Sø på 23.773 km² ud af 157,347 km² totalareal for alle luftfotos, er forvrænget og derfor har områder deri ikke den rigtige geografiske placering. Hvis disse områder ikke ekskluderes, ville resultatet blive skævt, da det fjernede permanente vand ikke vil fjerne alt det permanente vand, som optegningen indeholder. Det blev forsøgt at reparere disse luftfotos i GIS, men det var ikke muligt at få billederne helt på plads, da billedet så ville ligge skævt i et andet område. Figur 6.3 viser denne problematik. På figuren er det tydeligt at se hvordan vejen ikke er placeret samme sted på luftfotoet (øverst) og på et ortofoto (nederst) fra SDFI, u.d.[b]. Cellestørrelsen på ortofoto fås i 10x10 cm eller 12,5x12,5 cm [SDFI, u.d.(b)], og er altså ikke en stor nok forskel i cellestørrelse i forhold til luftfoto på 7x7 cm til at være grunden til forskydningen. Området er ikke vist på figur 6.2.



Figur 6.2. Land, oversvømmede områder og permanente vandområder. Permanent vand er et kortlag med søer og vandløb fra SDFI, u.d.[c] og vand og land er fra referencekortet fra optegningen af de givne luftfotos.



Figur 6.3. Illustration af forskydning af et af de givne luftfotos i forhold til ortofoto fra SDFI, u.d.[b].

6.1.1 Forskel i celledørrelse på producerede kort og givne luftfotos

Begge valideringsmetoder bruger referencekortet, og eftersom referencekortet har en celledørrelse på 7x7 cm, og satellitbillederne fra Sentinel 1 satellitterne har en celledørrelse på 10x10 m, kan der opstå et skævt resultat. På figur 6.4 er denne forskel på celledørrelsen vist. Blå farve indikerer oversvømmelseshændelsen som set fra satellitten, og det resterende område er fra de givne luftfotos. Området på figuren er altså et eksempel på et sted, hvor forskellen i celledørrelse kan være problematisk, da det blå kortlag dækker et område, som ikke nødvendigvis kan klassificeres som oversvømmet. Det kan dog også være problematisk i forhold til at underestimere udbredelsen af oversvømmelsen, som også ses på figuren, da cellerne ikke får *hele* oversvømmelsen med (kan også være som resultat af andre forhold, som beskrevet i kapitel 2 og 3). Confusion Matrix-metoden tager forbehold for dette, da den validerer i ét punkt pr. celle på oversvømmelseskortene, som vil blive beskrevet i afsnit 6.2. Det samme gælder ikke for Overlapanalysen, hvilket er grunden til, at den er vurderet som mindre præcis. I tabel 6.1 ses det totale antal celler samt areal for alle oversvømmelseskort. Antallet er endvidere opdelt i land og vand (foruden permanent vand) baseret på klassificering fra referencekortet. Det er altså 53.783 celler, der forsøges at estimeres som oversvømmet ved hjælp af de to koncepter. I tabellen ses desuden arealerne fra referencekortet, hvor der ses en lille forskel fra antal celler til areal, hvilket er forekommet på baggrund af celledørrelsesforskellen mellem referencekort og oversvømmelseskort.



Figur 6.4. Illustration af celledørrelsesforskellen mellem producerede oversvømmelseskort på 10x10 m (blå) og givne luftfotos på 7x7 cm.

Antal celler og areal		
Område	Celler [10x10 m]	Areal [km ²]
Vand	53.783	5,371
Land	891.039	89,111
Total	944.822	94,483

Tabel 6.1. Antallet af celler samt areal, som gælder for alle producerede oversvømmelseskort, hvor fordelingen af vand og land er på baggrund af referencekortet.

6.2 Valideringsmetode 1: Confusion matrix

Til validering af data inden for remote sensing, er den såkaldte *Confusion Matrix*, også kendt som en *Error Matrix*, en af de mest anvendte. Princippet for denne type validering er at se på enkelte punktmålinger for både referencekortet og for de producerede oversvømmelseskort fra monitoreringskoncepterne. Disse punktmålinger bliver herefter sammenlignet. Referencekortet er et såkaldt ground truth-kort, altså et kort der viser den rigtige værdi for vand og land, og oversvømmelseskortene fra koncepterne er

klassifikationskort, hvilket betyder, at der "gættes" på, at vand og land derpå er rigtigt. Sammenligningen af punktmålinger på begge kort kan herefter opstilles i en tabel, hvor punkterne inddeles i grupper baseret på om klassifikationskortet gætter rigtigt i forhold til ground truth-kortet. Disse grupper består af sand positiv, sand negativ, falsk positiv og falsk negativ. [Rees, 2014, kap. 11] Til sidst kan der beregnes en række værdier ud fra antallet af punkter i grupperne, der kan give informationer om nøjagtigheden af klassifikationskortene, og derved oversvømmelseskortene fra koncepterne. Et eksempel på en Confusion Matrix er vist i tabel 6.2 med to klasser og farvekodning.

Forventet / Observeret	Forventet: Klasse 1	Forventet: Klasse 2	Total	User accuracy	Kappa
Observeret: Klasse 1	Sand: Klasse 1	Falsk: Klasse 2			
Observeret: Klasse 2	Falsk: Klasse 1	Sand: Klasse 2			
Total					
Producer accuracy				Overall Accuracy	
Kappa					

Tabel 6.2. En blank Confusion Matrix med farvekodning. Grøn er sande klasser, rød er falske klasser, lilla er nøjagtighederne for user accuracy, orange er nøjagtighederne for producer accuracy, blå er nøjagtigheden overall accuracy og gul er Kappa koefficienten.

Denne matricetabel består af to klasser; 1 og 2. Det er disse klasser som punkterne kan klassificeres i. Når punkterne skal klassificeres gøres det ud fra forventet- og observeret data, hvor det forventede er fra referencekortet og det observerede er fra klassifikationskortet. Punkter der har en *forventet: klasse 1* og bliver klassificeret som *observeret klasse 1*, vil blive placeret i *Sand: Klasse 1* og er sand positiv. Hvis et punkt har en *forventet: klasse 2* og bliver klassificeret som *observeret: klasse 1*, vil den blive sorteret i *Falsk: Klasse 2* og er falsk positiv. Det vil sige, at de grønne celler er de sande klassificeringer, og er her hvor de punkter, der klassificeres korrekt, bliver sorteret i. De røde celler er falske klassificeringer, og er hvor punkter, som er klassificeret forkert, bliver sorteret i. Klassificeringen af punkterne viser altså om ens model (koncepterne) "gætter" rigtigt eller forkert. Efterfølgende kan der beregnes tre forskellige nøjagtigheder på fordelingen af punkter, som kan give forskellige informationer om præcisionen i procenter af hele konceptet eller enkelte klassifikationer såsom vand. De forskellige nøjagtigheder kan ses i tabel 6.2; *overall accuracy* markeret med blå farve, *user accuracy* markeret med lilla farve og *producer accuracy* markeret med orange farve, og disse vil blive forklaret herunder.

Overall accuracy er en nøjagtighed, der fortæller hvor nøjagtig klassificeringen er til at placere begge klasser korrekt, som i dette projekt er land og vand [Jones og Vaughan, 2010, kap. 10]. Eftersom landarealerne er en del større end vandarealer, især når det kun ønskes at kortlægge oversvømmelser og ikke permanent vand, vil det være forkert at vurdere koncepterne ud fra denne værdi alene. Grunden til dette er, at antallet af punkter, der klassificeres på, vil være skævt fordelt, med mange flere punkter på land. Ligning 6.1 viser

hvorledes overall accuracy udregnes:

$$\frac{\text{Total antal korrekt klassificerede punkter}}{\text{Total antal punkter}} = \text{Nøjagtighed [\%]} \quad (6.1)$$

Den næste nøjagtighed, der kan anvendes til at validere koncepterne er user accuracy. Denne nøjagtighed giver probabiliteten for om et punkt, der klassificeres som vand, egentlig er vand i virkeligheden (ud fra referencekortet) [Jones og Vaughan, 2010, kap. 10]. Nøjagtigheden fortæller altså i hvor høj en grad det kan forventes, at de områder koncepterne estimerer til at være vand, faktisk er vand. Denne værdi er altså en god indikator for hvor gode koncepterne er. User accuracy bliver beregnet ved at tage antallet af korrekt klassificerede punkter og dividere det med totalantallet af punkter i den pågældende række, se ligning 6.2. [Jones og Vaughan, 2010, kap. 10]

$$\frac{\text{Antal korrekt klassificerede punkter i en given række}}{\text{Total antal punkter i tilsvarende række}} = \text{Nøjagtighed [\%]} \quad (6.2)$$

Udover user accuracy er der producer accuracy, som er en nøjagtighed, der viser hvor stor en andel af alt vand på referencekortet der også klassificeres som vand på klassifikationskortet [Jones og Vaughan, 2010, kap. 10]. Producer accuracy udregnes ved at tage antallet af korrekt klassificerede punkter og dividere med antallet af punkter i den tilsvarende kolonne, som kan ses i ligning 6.3.

$$\frac{\text{Antal korrekt klassificerede punkter i en given kolonne}}{\text{Total antal punkter i tilsvarende kolonne}} = \text{Nøjagtighed [\%]} \quad (6.3)$$

Yderligere kan der laves en evaluering af om hvorvidt resultaterne i Confusion Matrix kan stoles på. Dette kan gøres med en *kappa-analyse*, som resulterer i kappa-koefficienten K , markeret med gul i tabel 6.2. Forskellen mellem resultatet af overall accuracy og kappa er, at kappa-analysen tager højde for komplementære værdierne for user- og producer accuracy; henholdsvis 1 - user accuracy (kaldet commission error) og 1 - producer accuracy (kaldet omission error). [Jones og Vaughan, 2010, kap. 10] De resulterende komplementære værdier viser således andelen af forkert klassificerede punkter. K -værdien er altså en målestok for klassifikationens succes, hvor chancen for succes er blevet fjernet, hvilket gør, at K kan bruges til at vise om klassifikationen er troværdig eller om det var en tilfældighed, at resultatet blev godt. Om en klassifikation har været en succes, kan ses på tabel 6.3, hvor en K -værdi på 0 er en dårlig klassifikation og 1 viser en næsten perfekt klassifikation. For at finde K bruges ligning 6.4 med dertilhørende parametre. [Jones og Vaughan, 2010, kap. 10]

$$K = \frac{N \sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r (x_i \cdot x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (x_{i+} \cdot x_{x+i})} \quad (6.4)$$

x_{ii}	Er det totale antal punkter i kolonne i og række i (de diagonale celler i matricen)
x_{i+}	Er det totale antal punkter i række i
x_{+i}	Er det totale antal punkter i kolonne i
r	Antallet af rækker i confusion matricen
N	Antallet af punkter i confusion matricen

Kappa Koefficient	Klassifikationen er
Under 0,4	Dårlig
0,41-0,60	Moderat
0,61-0,75	God
0,76-0,80	Fremragende
0,81 og over	Næsten perfekt

Tabel 6.3. Kappa koefficient med dertilhørende beskrivelse af hvornår en Kappa-værdi fortæller om en klassifikation er god fra Richards, 2013, s. 404.

En sidste parameter, der har indflydelse på resultaterne i Confusion Matrix, er hvordan punkterne fordeles over kortene. Overordnet findes der fem typer af måden disse fordeles; *random*, *regular*, *stratified*, *clustered* og *transects* [Jones og Vaughan, 2010, kap. 10]. Ud af disse fem typer kan det anvendte GIS-program fremstille punkter med typerne *random* og *stratified*, hvor *stratified* kan laves på to måder i ArcGIS Pro; *stratified* og *equal stratified*. Det vil derfor kun være *random*, *stratified* og *equal stratified* der forklares yderligere.

Typen *random* opretter punkter tilfældigt, og er den mest statistisk optimale at anvende, og samtidig giver den et minimalt bias i data. Ulemperne for anvendelsen af *random* er, at klassifikationer med mindre arealer får et mindre antal punkter samt, at det kan være svært at få ground truth-data for nogle af punkterne. Disse to ulemper betyder dog intet for dette projekt, da der er givet ground truth data fra luftfotos, samt at antallet af anvendte punkter derfor kan øges til en stor mængde, for at undgå at nogle områder ikke får punkter. [Jones og Vaughan, 2010, kap. 10]

Typen *stratified* opretter punkter baseret på størrelsesforskellen mellem klassifikationerne, således at de klassifikationer med store arealer får flest punkter og dem med små arealer får færrest punkter. Denne type er ofte den mest effektive metode til oprettelse af punkter, og er også standard-metoden i ArcGIS Pro. Fordelene ved denne type er, at der er lavere risiko for at klassifikationer får for få punkter, og samtidig er der næsten ingen eller ingen bias i data. Ulempen for *stratified* er, ligesom for *random*, at adgangen til ground truth data kan være besværlig. Dette har igen ingen betydning for dette projekt. [Jones og Vaughan, 2010, kap. 10]

Den sidste type; *equal stratified*, opretter et lige antal punkter for hver klassifikation, hvilket medfører, at ingen klassifikationer er underrepræsenteret. Ulempen her vil være, at der kan være en vis bias i data. [Jones og Vaughan, 2010, kap. 10]

Tabel 6.4 er et eksempel på en færdig Confusion Matrix. Denne er baseret på en klassificering af referencekortet og ét af de producerede oversvømmelseskort, hvor der er blevet oprettet 100.000 punkter i GIS. I tabellen er det totale antal af punkter 98.704 og ikke 100.000, da der på grund af de forskellige cellestørrelser på referencekort og klassifikationskort er fjernet punkter, som ikke rammer begge kort.

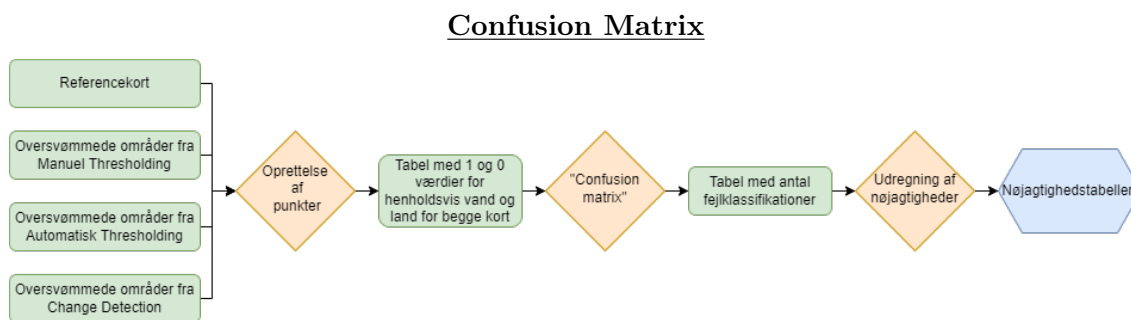
Referencekort / Klassifikationskort	Klassifikation 1: Land	Klassifikation 2: Vand	Total	User accuracy	Kappa
Klassifikation 1: Land	91.467	3.136	94.603	0,97	
Klassifikation 2: Vand	1.330	2.771	4.101	0,68	
Total	92.797	5.907	98.704	0	
Producer accuracy	0,99	0,47	0	0,95	
Kappa					0,53

Tabel 6.4. Eksempel på en udfyldt Confusion Matrix, med værdier fra en klassifikation med 100.000 punkter af ét af de producerede oversvømmelseskort. Samme farvekodning som eksemplet fra tidligere.

Eftersom eksemplet er lavet ud fra et af de senere anvendte oversvømmelseskort, vil det være user- og producer accuracy, der er vigtigst at se på. Samtidig er det mest interessant at se på nøjagtigheden af vand-klassificeringen, og derved klassifikation 2. Her ses det, at user- og producer accuracy er henholdsvis 68% og 47%. Dette betyder, at 68% af de punkter oversvømmelseskortet har klassificeret som vand, faktisk er vand samt, at oversvømmelseskortet har fundet 47% af det totale oversvømmelsesareal på referencekortet. Der er altså en stor forskel fra at kigge på disse værdier, frem for kun at se på overall accuracy, som viser en nøjagtighed på 95%. Grunden til, at overall accuracy er så høj er fordelingen af antal punkter i hver klasse, hvor klassifikation 1 (land) har 92.797 og 94.603 punkter og klassifikation 2 (vand) kun har 5.907 og 4.101 punkter. Dette gør, at overall accuracy *tror* koncepterne er 95% præcise, da de finder meget rigtigt land (deraf en user- og producer accuracy på henholdsvis 0,97 og 0,99% for klassifikation 1). Derfor vil det være user- og producer accuracy for vand, der senere anvendes til at validere oversvømmelseskortene fra koncepterne. Eftersom det ønskes at finde ud af præcist hvor gode koncepterne er til at finde oversvømmelse, oprettes der ét punkt for hver celle i oversvømmelseskortene. Det totale antal af celler blev vist tilbage i tabel 6.1 på side 58, og er 944.822 celler. Det store antal af punkter har medført en ændring i hvor hurtigt der kan produceres kort i GIS, men ikke i en for høj grad, og derfor fortsættes der med dette antal punkter. Eftersom hver celle får et punkt, har typen af punkter (random og stratified) ingen betydning. Ligeledes kan Kappa koefficienten udelades, på baggrund af, at der oprettes et punkt i hver celle. Dette medfører, at det vides ud fra referencekortet præcist hvilke celler, der er oversvømmede, og betyder, at resultatet for nøjagtighederne ikke vil være en tilfældighed.

6.2.1 Anvendelse af metoden

Dette afsnit vil indeholde en beskrivelse af den præcise anvendelse af Confusion Matrix i dette projekt. Igennem processen er der foretaget en række valg på baggrund af eksempelvis forskellen i cellestørrelse, disse valg vil også blive beskrevet her. På figur 6.5 vises processen for Confusion Matrix-valideringsmetoden.



Figur 6.5. Strukturdiagram over arbejdsprocessen for Valideringsmetode 1: Confusion Matrix. Grøn er input, gul er metoder og blå er resultatet. De forskellige dele forklares i teksten.

Det første trin er at oprette punkterne der skal indeholde 1 og 0 værdierne for *ground truth* fra referencekort og *classified* fra oversvømmelseskort. Dette gøres med værktøjet *Create Accuracy Assessment Points*, hvor referencekortet vælges som *Ground Truth*. De oprettede punkter indeholder nu 1 og 0 værdier for referencekortet i kolonnen *ground truth* i en tabel over punkterne, og nu mangler værdierne fra oversvømmelseskortene at blive tilføjet som klassificering. Hertil anvendes værktøjet *Update Accuracy Assessment Points*, og som navnet indikerer, er formålet at tilføje værdier til de oprettede punkter. Her vælges *Classified* i stedet for *ground truth*, da oversvømmelseskortene indeholder observerede værdier.

Inden oversvømmelseskortene kan anvendes til at opdatere punkterne, skal de igennem nogle ekstra trin i GIS. Disse trin består eksempelvis af at ændre datatypen af kortene til *integer* med værktøjet *Int*, da de efterfølgende anvendte værktøjer kræver dette. Integer betyder, at cellernes værdier ikke kan have kommatall. Udover dette skal der fjernes et vis antal punkter fra hvert kort, da de, ligesom eksemplet fra tidligere, i nogle tilfælde ikke rammer både referencekort og oversvømmelseskort. For Change Detection-konceptet skal der udføres endnu et trin. Dette trin er at give de områder fejlområde-kortlaget fjernede, en 0-værdi. Grunden til at dette er nødvendigt er, at punkterne i disse områder ellers ville blive klassificeret med værdien -1, da de ingen 0-værdi har, og derfor ville de blive fjernet fra udregningen af nøjagtighederne. Uden at gøre dette, ville der ikke kunne ses en forbedring i nøjagtigheden efter anvendelsen af Change Detection-konceptet. Måden hvorpå dette gøres er at anvende værktøjet *Reclassify*, som kan give bestemte celler en ny værdi.

Herefter kan alle de producerede tabeller med 1 og 0 værdier anvendes til at lave confusion matricer. Dette gøres med værktøjet *Compute Confusion Matrix*, som producerer de færdige nøjagtighedstabeller som set i eksemplet i forrige afsnit.

6.3 Valideringsmetode 2: Overlapanalyse

Denne valideringsmetode består af at sammenligne arealet fra referencekortet med arealerne fra de færdige oversvømmelseskort fra koncepterne. Dette gøres både for totale arealer af oversvømmelse, samt en vurdering af i hvor stor grad det er de samme områder, som konceptresultaterne estimerer som oversvømmede i forhold til referencekortet. På

denne måde kan de fundne arealer bruges til at udregne user- og producer accuracy for Overlapanalysen.

Ved at se på absolutte arealer for de producerede oversvømmelseskort, kan der gives et billede af hvor stort et omfang oversvømmelsen har haft. Det kan dog være problematisk *kun* at kigge på arealet på denne måde, da de arealer de to koncepter mener er oversvømmede ikke nødvendigvis er det for referencekortet, men stadig kan give det samme totale areal. Derfor vil der yderligere vurderes om oversvømmelseskortlægningerne rammer de samme arealer. Dette gøres ved at trække de færdige kort fra referencekortet, og dermed se hvor stor en andel af arealet der er, eller ikke er, overlap mellem. Dette kan derefter omregnes til en producer accuracy, der kan sammenlignes med nøjagtigheden fra Confusion Matrix. På baggrund af forskellen i cellestørrelse mellem oversvømmelseskortene og referencekortet kan de to lag ikke "bare" trækkes fra hinanden med et enkelt værktøj i GIS, da der så vil blive et restprodukt af de store celler mange steder. Et eksempel på dette er vist på figur 6.6, hvor det ses, at der er et restprodukt, som ikke burde være der. For at undgå at disse arealer tælles med i valideringen, er det valgt at anvende *select by location*, som kan sortere i cellerne, ved at vælge alle de celler, der bliver rørt af referencekortet, og derefter fjerne disse celler fra oversvømmelseskortene. På denne måde undgås en overestimering af fejl, men det kan også skabe en problematik, da celler, der kun lige akkurat bliver ramt af referencekortet, stadig fjernes, selvom størstedelen af dets areal egentlig ikke er oversvømmelse. Ud fra stikprøver blev der dog kun fundet områder, hvor det første gør sig gældende, og derfor vurderes det, at det ikke skaber en betydelig mængde fejlestimeringer. Efterfølgende kan der gives værdier for de resterende områders arealer, som fejlvurderes som vand. Dertil kan user accuracy også udregnes ud fra de beregnede rigtige arealer, og sammenlignes med nøjagtigheden fra Confusion Matrix.

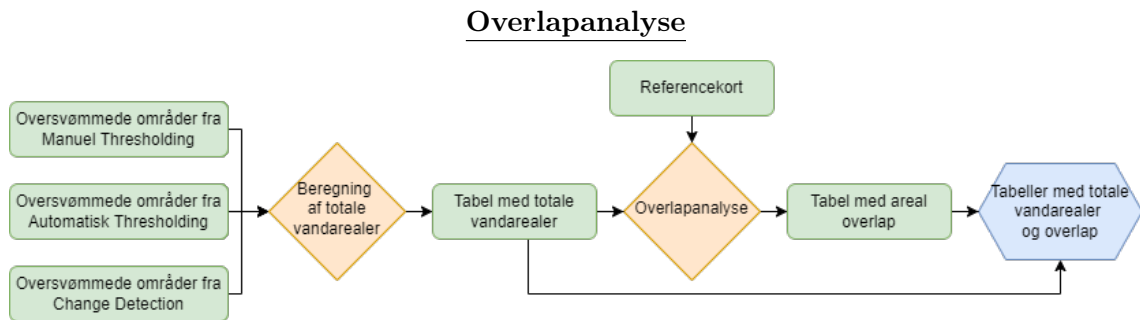


Figur 6.6. Illustration af hvorfor lagene ikke direkte kan trækkes fra hinanden, hvor de viste blå trekanter er et resultat af anvendelse af værktøjet *Erase* i GIS.

6.3.1 Anvendelse af metoden

Arbejdsprocessen for denne valideringsmetode er forholdsvis simpel og fremgår af figur 6.7, hvor det ses, at resultatet er to tabeller med henholdsvis det totale vandareal og det resterende areal for overlap mellem lagene.

Den første del af denne valideringsmetode *Beregning af totale vandarealer* går ud på at finde de absolutte arealer for oversvømmede områder. Dette gøres i GIS ved at beregne arealet af geometrien for lagene. I denne del foretages der ingen betydningsfulde valg, og resultatet findes hurtigt, som derefter kan opstilles i en tabel.



Figur 6.7. Strukturdiagram over arbejdsprocessen for Valideringsmetode 2: Overlapanalyse. Grøn er input, gul er metoder og blå er resultatet. De forskellige dele forklares i teksten.

Næste trin *Overlapanalyse* går ud på at anvende select by location over to omgange, hvor oversvømmelseskortene begge gange bruges som *input features* og oversvømmede områder fra referencekortet bruges som *selecting features* første gang, og kortlaget med permanent vand bruges som *selecting features* anden gang. Input features er det kortlag det ønskes at udvælge enkelte celler i, og *selecting features* er det kortlag, der anvendes til at bestemme *hvilke* celler, som skal udvælges i det første kortlag. Grunden til, at kortlaget med permanent vand også anvendes til at fjerne celler er igen, at der opstår små trekanter flere steder, som kan give fejlestimeringer af arealet. Måden hvorpå celler udvælges er sat til *intersect*, som udvælger de celler der bliver rørt af celler fra *selecting features*-kortlagene. Et ekstra resultat, der kan gives af Overlapanalysen, er et kortlag for alle oversvømmelseskort uden oversvømmede områder fra referencekort og uden permanent vand. Det er altså et kortlag, der viser områder, som satellitterne *ser* som oversvømmede uden at være det. Hvilket betyder, at den også kan vise hvilke områder, som Change Detection-konceptet ikke formår at fjerne ved hjælp af fejlområde-kortlagene. Herudover fås de ønskede resultater for total oversvømmede arealer, forkert vand og rigtig vand.

Opsummering af Del 2

Som det er blevet belyst i del 2, arbejdes der videre med to monitoreringskoncepter, der hver især kan producere oversvømmelseskort. Det første koncept, Thresholding, indebærer at finde en grænseværdi på to forskellige måder; Manuel Thresholding, hvor en ekspert finder den bedste grænseværdi og Automatisk Thresholding, hvor brugeren aflæser en værdi. Det andet koncept, Change Detection, bygger på samme fundament som det første koncept med en grænseværdi, dog bliver der udarbejdet et fejlområde-kortlag, baseret på en tidsserie for et år, hvis formål er at fjerne overestimeringer. Dette koncept går dernæst ind og trækker fejlområde-kortlaget fra oversvømmelseshændelsen for at finde de områder, der er oversvømmede mere nøjagtigt. I dette koncept er det den sidste del af konceptet, som en eventuel bruger kan udarbejde, og delen med udarbejdelsen af fejlområde-kortlaget skal laves af en ekspert. Det første koncept er en simplere måde at undersøge en oversvømmelseshændelse på, men forventes også at være mindre præcis. For Change Detection vil fejlområde-kortlaget være tilgængeligt for brugeren i længere tid, afhængigt af om kortet bliver opdateret af eksperten, da ændringer i arealanvendelse og lignende kan have indflydelse på om et område vises som et fejlområde.

Udover koncepterne blev det belyst hvordan valideringsprocessen af monitoreringskoncepterne vil udforme sig, hvor to valideringsmetoder blev belyst. Den første valideringsmetode var Confusion Matrix, som gik ind og klassificerede referencekortet og resultaterne for koncepterne for at finde ud af hvor nøjagtige koncepterne er. Her blev det fundet frem til, at user- og producer accuracy er de nøjagtigheder, som er vigtige at kigge på. Den anden valideringsmetode var Overlapanalysen, som indeholder en sammenligning af areal mellem referencekortet og resultaterne fra koncepterne. Denne valideringsmetode anvendes for at se om en simplere og hurtigere valideringsproces, kan erstatte den mere tidskrævende Confusion Matrix.

I del 3 vil resultaterne for monitoreringskoncepterne blive præsenteret og derefter blive valideret; først af valideringsmetoden Confusion Matrix, for at finde det bedste monitoreringskoncept, og derefter valideres med Overlapanalysen.

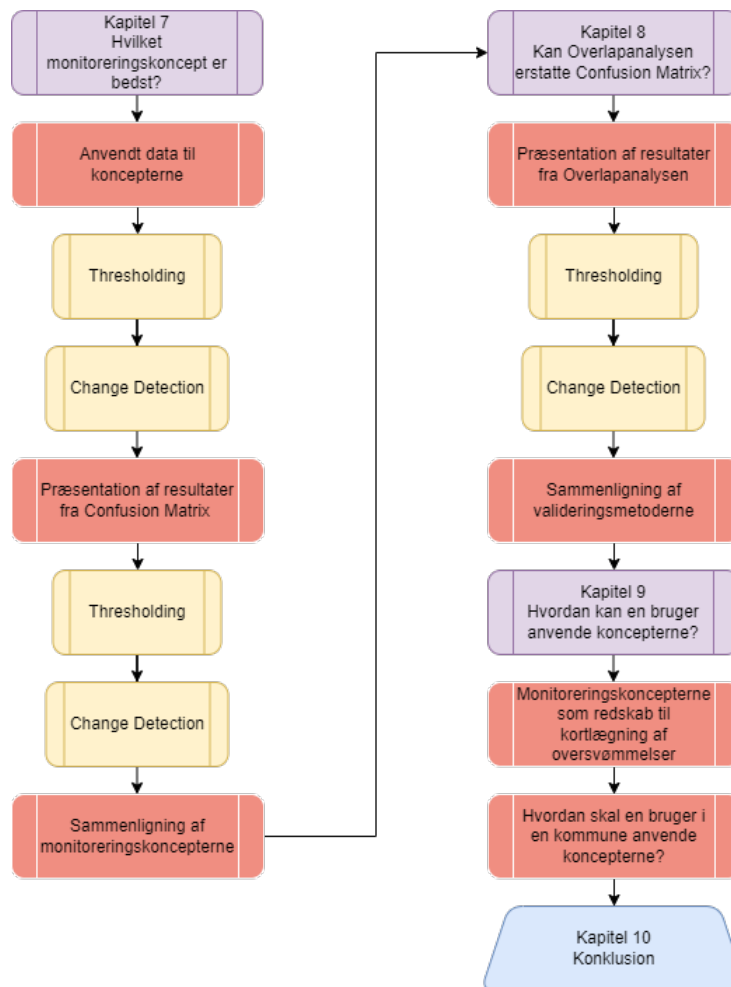
Del 3: Anvendelse og validering af monitoreringskoncepterne

Den tredje og sidste del af rapporten vil indeholde en analyse af de to monitoreringskoncepter for at vurdere hvilket koncept, der giver det bedste resultat. Dette gøres i kapitel 7 med fremgangsmåden beskrevet i del 2 af rapporten. Valideringsmetode 1: Confusion Matrix er den mest præcise af de to valideringsmetoder, og derfor vælges det bedste koncept ud fra resultater derfra. Kapitlet vil ende ud i et sammenligningsafsnit, hvor resultaterne for de to koncepter holdes op i mod hinanden i to tabeller. Denne sammenligning vil tage udgangspunkt i hvor mange *rigtige* vandceller koncepterne finder, ud af det oplyste antal fra referencekortet på 53.783 celler.

Dernæst vil det testes om hvorvidt den hurtigere, men mindre præcise, Valideringsmetode 2: Overlapanalyse, kan erstatte Confusion Matrix. Dette gøres for at finde ud af om valideringsprocessen kan gøres hurtigere, uden at miste nøjagtighed af valideringen. Resultaterne fra Overlapanalysen vil blive præsenteret i kapitel 8 i samme rækkefølge som for Confusion Matrix. I slutningen af dette kapitel vil der være en sammenligning af de to valideringsmetoder.

Til sidst vil der være en diskussion af resultaterne, hvor omdrejningspunktet vil være hvorledes disse koncepter kan anvendes af en bruger i en kommune. Dette kan findes i kapitel 9.

På figur 6.8 ses et læsevejledningsdiagram over del 3, hvor de forskellige dele af del 3 er illustreret for at give et overblik over strukturen heri. Den lilla farve viser starten på hvert kapitel, den røde farve indikerer de større afsnit, den gule farve viser underafsnit og den blå farve indikerer afslutningen i del 3.



Figur 6.8. Læsevejledningsdiagram over del 3 af rapporten. Lilla er starten på hvert kapitel, rød er større afsnit, gul er underafsnit og blå er afslutningen af del 3.

Hvilket monitoreringskoncept er bedst? 7

Det følgende kapitel vil indeholde en validering af monitoreringskoncepterne med Valideringsmetode 1: Confusion Matrix for at finde det monitoreringskoncept, der mest nøjagtigt kortlægger oversvømmelseshændelsen fra d. 27-28 februar 2020.

7.1 Anvendt data til koncepterne

Til at udarbejde oversvømmelseskortene er der anvendt satellitbilleder fra ESA, u.d.[b]. Satellitbillederne der anvendes er for orbit 44, 66 og 139 opdelt for de to koncepter, og er hentet med fremgangsmåden beskrevet i appendiks A4 på side 135. Satellitbillederne er blevet bearbejdet i SNAP Desktop, som beskrevet i afsnit 4.2. Til tidsserierne blev *Batch Processing* anvendt til at køre de anvendte værktøjer på alle satellitbilleder på én gang for at undgå mulige tastefejl.

7.1.1 Thresholding

Tabel 7.1 viser informationer for de tre satellitbilleder, som er blevet anvendt til dette koncept. Det ses, at satellitbillederne *ikke* er fra den samme dato, hvilket kan have en betydning for resultatet. Eftersom de givne luftfotos til referencekortet er lavet over flere dage, d. 27 og 28 februar 2020, vurderes det, at denne betydning er mindre vigtig, og desuden er vanskelig eller umulig at undersøge.

Anvendte satellitbilleder til Thresholding			
Orbit	Orbit 44	Orbit 66	Orbit 139
Dato/Satellit	27. februar / S1A	29. februar / S1A	28. februar / S1B

Tabel 7.1. Anskaffelsesdatoer for de anvendte satellitbilleder for alle orbit. S1A og S1B er henholdsvis Sentinel 1A og Sentinel 1B satellitterne.

7.1.2 Change Detection

Tabel 7.2, 7.3 og 7.4 viser satellitbillederne for henholdsvis orbit 44, 66 og 139. Da satellitbillederne til Change Detection blev bestilt på ESA, u.d.[b] var der få billeder, fra hver orbit, der aldrig blev tilgængelige efter bestilling, selv ved flere forsøg. Det vurderes derfor til at være en serverfejl eller lignende fra ESA's side. Det vides ikke hvor stor en effekt det har haft på resultatet, og vil derfor heller ikke blive diskuteret yderligere.

Anvendte satellitbilleder til Change Detection					
Nr.	Dato	Nr.	Dato	Nr.	Dato
1	15. januar	12	27. maj	23	6. oktober
2	27. januar	13	8. juni	24	18. oktober
3	8. februar	14	20. juni	25	30. oktober
4	20. februar	15	2. juli	26	23. november
5	4. marts	16	14. juli	27	5. december
6	16. marts	17	26. juli	28	17. december
7	28. marts	18	7. august	29	29. december
8	9. april	19	19. august	30	-
9	21. april	20	31. august	31	-
10	3. maj	21	12. september	-	
11	15. maj	22	24. september		

Tabel 7.2. Anskaffelsesdatoer for de anvendte satellitbilleder for orbit 44. Billederne er fra Sentinel 1A og er hentet fra ESA, u.d.[b].

Anvendte satellitbilleder til Change Detection					
Nr.	Dato	Nr.	Dato	Nr.	Dato
1	5. januar	12	17. maj	23	8. oktober
2	17. januar	13	29. maj	24	20. oktober
3	29. januar	14	10. juni	25	1. november
4	10. februar	15	22. juni	26	13. november
5	22. februar	16	4. juli	27	25. november
6	6. marts	17	16. juli	28	7. december
7	18. marts	18	28. juli	29	19. december
8	30. marts	19	9. august	30	31. december
9	11. april	20	21. august	31	-
10	23. april	21	2. september	-	
11	5. maj	22	26. september		

Tabel 7.3. Anskaffelsesdatoer for de anvendte satellitbilleder for orbit 66. Billederne er fra Sentinel 1A og er hentet fra ESA, u.d.[b].

Anvendte satellitbilleder til Change Detection					
Nr.	Dato	Nr.	Dato	Nr.	Dato
1	4. januar	12	16. maj	23	25. september
2	16. januar	13	28. maj	24	7. oktober
3	28. januar	14	9. juni	25	19. oktober
4	9. februar	15	21. juni	26	31. oktober
5	21. februar	16	3. juli	27	12. november
6	5. marts	17	15. juli	28	24. november
7	17. marts	18	27. juli	29	6. december
8	29. marts	19	8. august	30	18. december
9	10. april	20	20. august	31	30. december
10	22. april	21	1. september	-	
11	4. maj	22	13. september		

Tabel 7.4. Anskaffelsesdatoer for de anvendte satellitbilleder for orbit 139. Billederne er fra Sentinel 1B og er hentet fra ESA, u.d.[b].

7.2 Præsentation af resultater fra Confusion Matrix

Dette afsnit vil indeholde resultaterne fra anvendelsen af Confusion Matrix på de producerede oversvømmelseskort fra de to monitoreringskoncepter. For Thresholding-konceptet findes der resultater for både Manuel Thresholding og Automatisk Thresholding, mens Change Detection-konceptet har ét resultat for hvert oversvømmelseskort. Resultaterne bliver opstillet i én tabel for hver orbit og for hvert koncept, og resulterer i to tabeller for hver orbit. For Thresholding-konceptet gives der også grafer for hver tabel for at visualisere udviklingen. Desuden vil der gives en række korteksempler på de producerede oversvømmelseskort for hvert koncept.

7.2.1 Thresholding

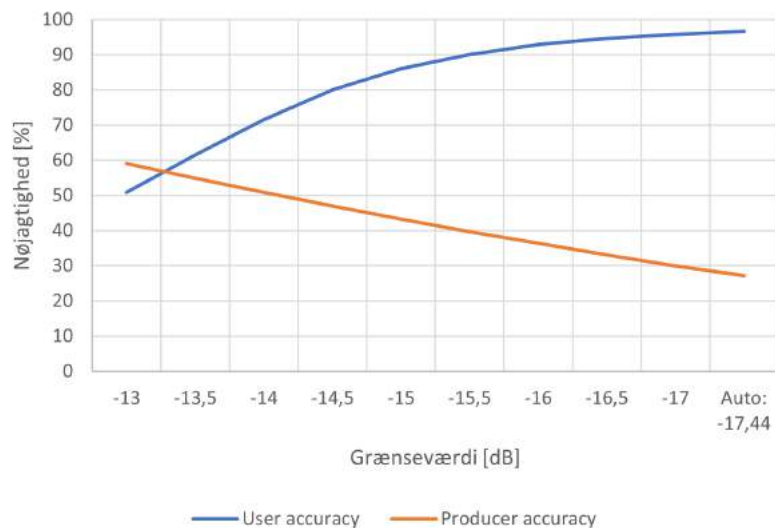
I tabel 7.5, 7.6 og 7.7 ses de resulterende værdier for Manuel Thresholding og Automatisk Thresholding for hver orbit.

Ved at kigge nærmere på Manuel Thresholding-resultaterne for orbit 44 i tabel 7.5 viser det, at ved at sænke grænseværdien fra -13 dB til -17 dB, stiger user accuracy fra 50,9% til 95,8%, hvilket er en forbedring på 44,9%. Til gengæld falder producer accuracy i takt med grænseværdien fra 59% til 29,9%, hvilket er en forværring på 29,1%, og grænseværdien -17 dB finder altså kun 29,9% af al rigtig vand. Dette viser, at når grænseværdien bliver lavere vil konceptet blive mere sikker i at klassificere vand, men til gengæld klassificeres der mindre vand. Grafen på figur 7.1 viser tydeligt, at en lavere grænseværdi medfører en mindre producer accuracy og en højere user accuracy. For at bestemme hvilken grænseværdi der er bedst, findes skæringspunktet for de to linjer, der så fortæller punktet hvor de to nøjagtigheder rammer deres fælles højdepunkter. Skæringspunktet for orbit 44 er -13,28 dB.

Ved Automatisk Thresholding findes en grænseværdi på -17,44 dB, som er i den lavere ende af skalaen, men denne form for thresholding har til gengæld en høj user accuracy på 96,6%, som viser, at størstedelen af det vand der klassificeres faktisk er vand. Derimod har Automatisk Thresholding her en lav producer accuracy, så der findes kun 27,2% rigtig vand fra referencekortet.

Resultater for orbit 44		
Nøjagtighedstype/ threshold [dB]	User accuracy [%]	Producer accuracy [%]
-13	50,9	59,0
-13,5	61,4	55,0
-14	71,6	50,9
-14,5	79,9	47,0
-15	86,1	43,3
-15,5	90,0	39,7
-16	92,9	36,3
-16,5	94,6	33,1
-17	95,8	29,9
Automatisk: -17,44	96,6	27,2

Tabel 7.5. Resultater for nøjagtighederne user- og producer accuracy i procent fra Confusion Matrix ved hver grænseværdi i dB.



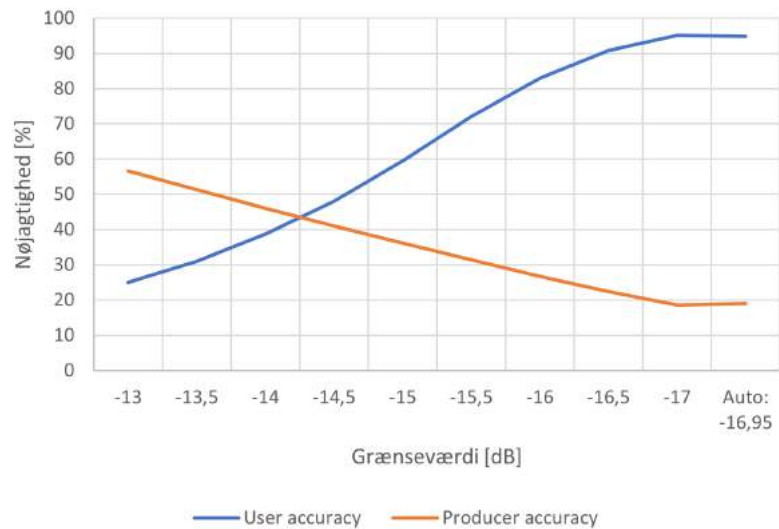
Figur 7.1. Forløbet af user accuracy, markeret med blå, og producer accuracy, markeret med orange, i procent fra grænseværdien -13 dB til -17dB samt den automatiske grænseværdi for orbit 44.

Manuel Thresholding for orbit 66 viser samme tendens, som ved orbit 44, hvor grænseværdien og producer accuracy følges ad og bliver lavere sammen, og user accuracy igen stiger når grænseværdien øges, hvilket ses på figur 7.2 og i tabel 7.6. Skæringspunktet for orbit 66 er i grænseværdien -14,25 dB.

Ved Automatisk Thresholding for orbit 66 er grænseværdien i den lavere ende og igen har en høj user accuracy på 94,8% og en lav producer accuracy på 19,30%.

Resultater for orbit 66		
Nøjagtighedstype/ grænseværdi [dB]	User accuracy [%]	Producer accuracy [%]
-13	25,0	56,6
-13,5	36,1	51,0
-14	38,7	46,0
-14,5	48,0	41,0
-15	59,4	36,1
-15,5	72,0	31,4
-16	82,9	26,8
-16,5	90,8	22,4
-17	95,2	18,6
Automatisk: -16,95	94,8	19,0

Table 7.6. Resultater for nøjagtighederne user- og producer accuracy i procent fra Confusion Matrix ved hver grænseværdi i dB.



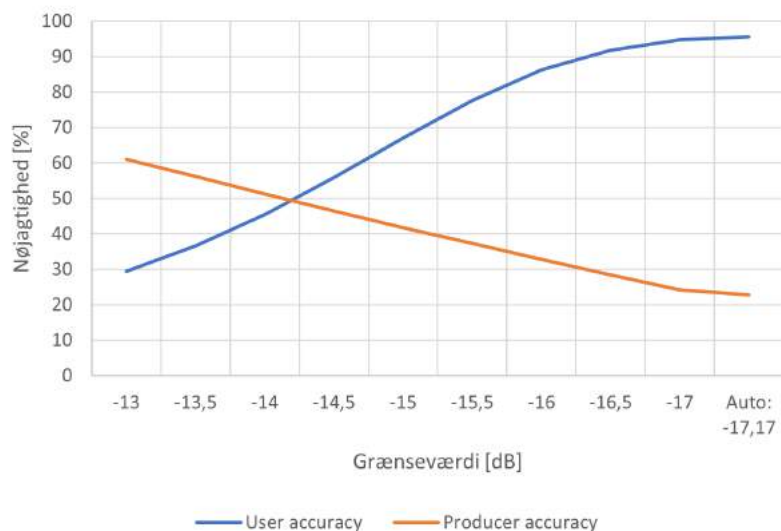
Figur 7.2. Forløbet af user accuracy, markeret med blå, og producer accuracy, markeret med orange, i procent fra grænseværdien -13 dB til -17dB samt den automatiske grænseværdi for orbit 66.

Ligeledes ved orbit 139 er der for Manuel Thresholding fundet, at en højere grænseværdi medfører en højere user accuracy, mens producer accuracy falder, hvilket grafen på figur 7.3 sammen med tabel 7.7 viser. Skæringspunktet for orbit 139 er i grænseværdien -14,19 dB.

Igen er grænseværdien for Automatisk Thresholding lav, med en grænseværdi på -17,17 dB, som giver en høj user accuracy på 95,5%, men en lav producer accuracy på 22,7%.

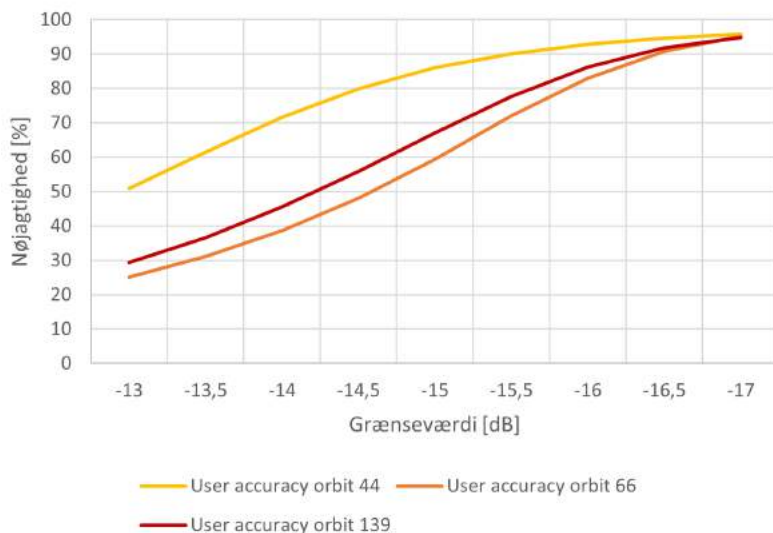
Resultater for orbit 139		
Nøjagtighedstype/ grænseværdi [dB]	User accuracy [%]	Producer accuracy [%]
-13	29,4	61,1
-13,5	36,6	56,2
-14	45,5	51,3
-14,5	55,9	46,4
-15	67,0	41,8
-15,5	77,6	37,4
-16	86,2	32,9
-16,5	91,8	28,4
-17	94,8	24,1
Automatisk: -17,17	95,5	22,7

Tabel 7.7. Resultater for nøjagtighederne user- og producer accuracy i procent fra Confusion Matrix ved hver grænseværdi i dB.



Figur 7.3. Forløbet af user accuracy, markeret med blå, og producer accuracy, markeret med orange, i procent fra grænseværdien -13 dB til -17dB samt den automatiske grænseværdi for orbit 139.

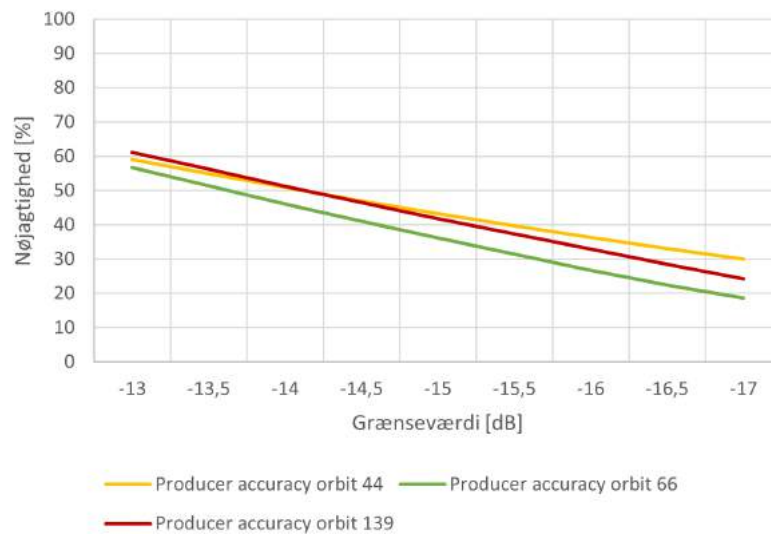
Resultaterne fra Confusion Matrix for Manuel Thresholding viste for alle tre orbit, at ved at sænke grænseværdien faldt producer accuracy, mens user accuracy øges. Grafen på figur 7.4 viser user accuracy for alle tre orbits, og her ses det, at orbit 66 og 139 følger hinanden indenfor 10% og ender samme sted. På grafen ses det, at orbit 44 har den højeste start user accuracy af de tre orbits, hvilket den har helt frem til omkring -17 dB. Orbit 66 har den laveste user accuracy ved -13 dB, og det samme ses ved -15 dB, men ved -17 dB er alle tre orbit inden for 1% af hinanden.



Figur 7.4. Samlet forløb af user accuracy i procent fra grænseværdien -13 dB til -17dB for orbit 44 markeret med gul, 66 markeret med orange og 139 markeret med rød. Automatisk Threshold er ikke vist, da hver orbit har forskellige grænseværdier derfra.

Grafen på figur 7.5 viser producer accuracy for alle tre orbit, hvor der ikke ses en stor forskel mellem dem igennem hele grafen. Orbit 139 har den bedste producer accuracy ved

-13 dB, mens orbit 44 har den bedste ved -17 dB. I takt med, at grænseværdien falder bliver producer accuracy lavere, hvilket viser, at mængden af al rigtig vand der klassificeres bliver mindre.

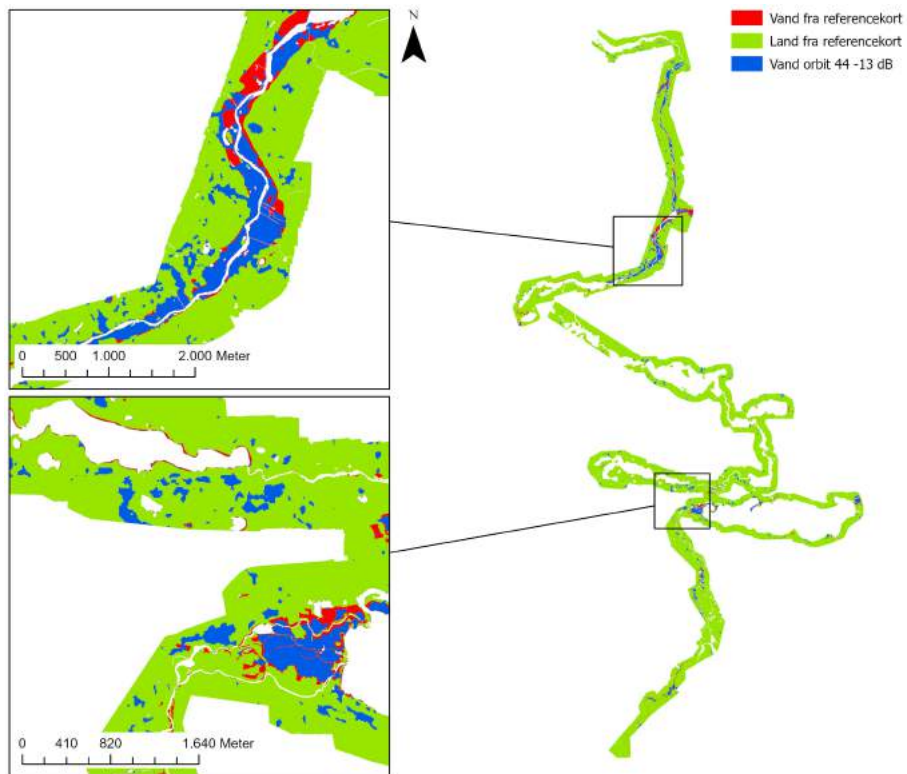


Figur 7.5. Samlet forløb af producer accuracy i procent fra grænseværdien -13 dB til -17dB for orbit 44 markeret med gul, orbit 66 markeret med orange og orbit 139 markeret med rød. Automatisk Threshold er ikke vist, da hver orbit har forskellige grænseværdier derfra.

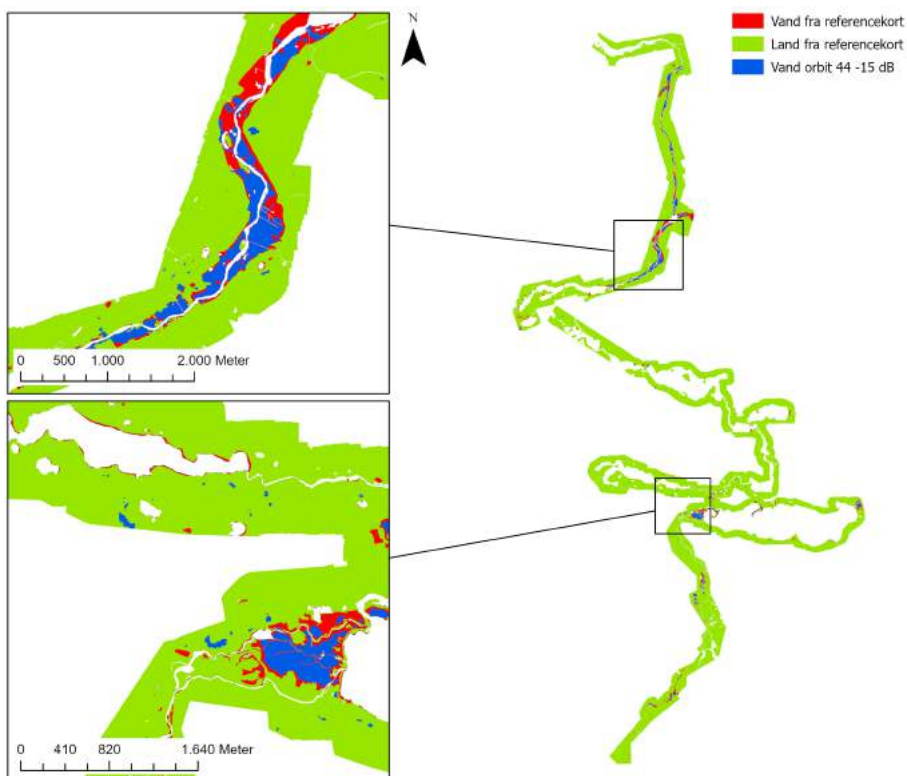
Korteksempler

For at visualisere resultaterne fra Manuel Thresholding for de forskellige grænseværdier, vil der kun gives tre eksempler fra hver orbit, da en ændring mellem hver eneste grænseværdi ikke er tydelig. De viste oversvømmelseskort vil være for henholdsvis -13 dB, -15 dB og -17 dB. Herudover vises også de tre resultater fra Automatisk Thresholding. De resterende oversvømmelseskort vil kunne ses i appendiks E1 på side 139.

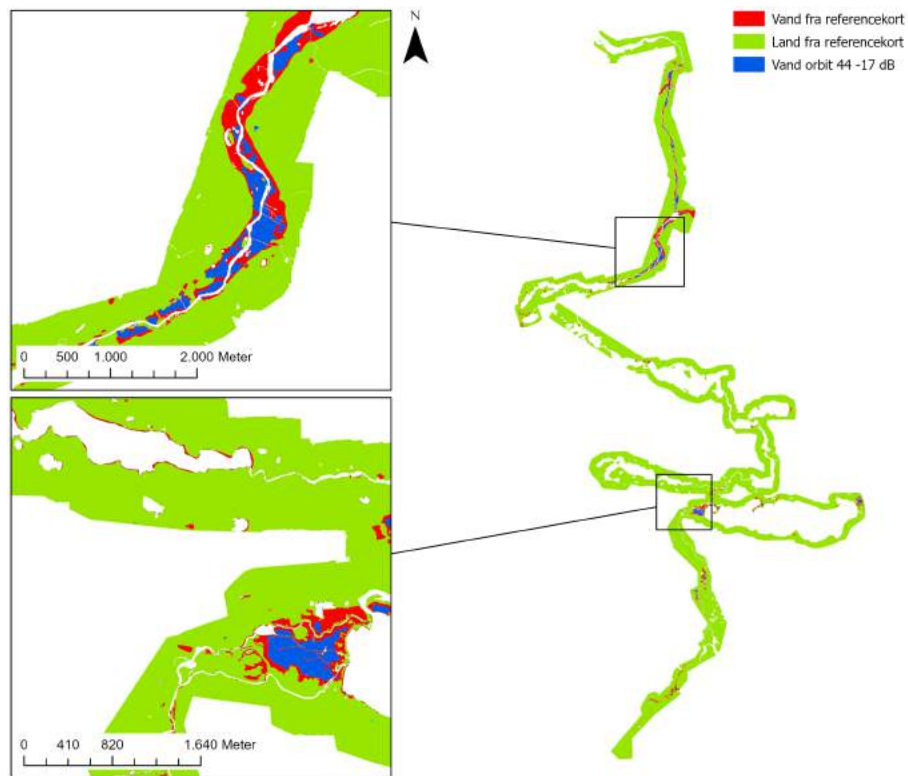
De første tre kort er for orbit 44, dernæst tre kort for orbit 66, tre kort for orbit 139 og til sidst tre kort for Automatisk Thresholding. Det er valgt kun at vise to områder tættere på, da der sker mest i disse områder, og det vil være de samme områder for alle oversvømmelseskort i begge koncepter. På oversvømmelseskortene kan det tydeligt ses, at en højere grænseværdi (-13 dB) øger arealet af vand. Desuden ses det tydeligt på alle kort med grænseværdien -13 dB, at der er en betydelig overestimering af vand.



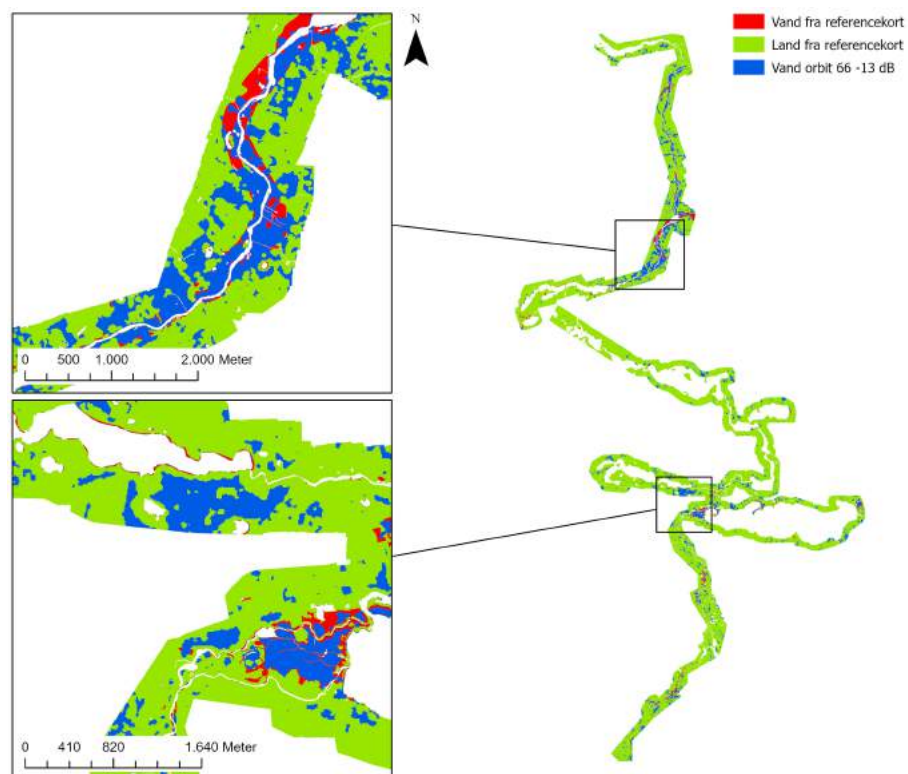
Figur 7.6. Oversvømmelseskort for grænseværdien -13 dB for orbit 44 fra Threshold-konceptet.



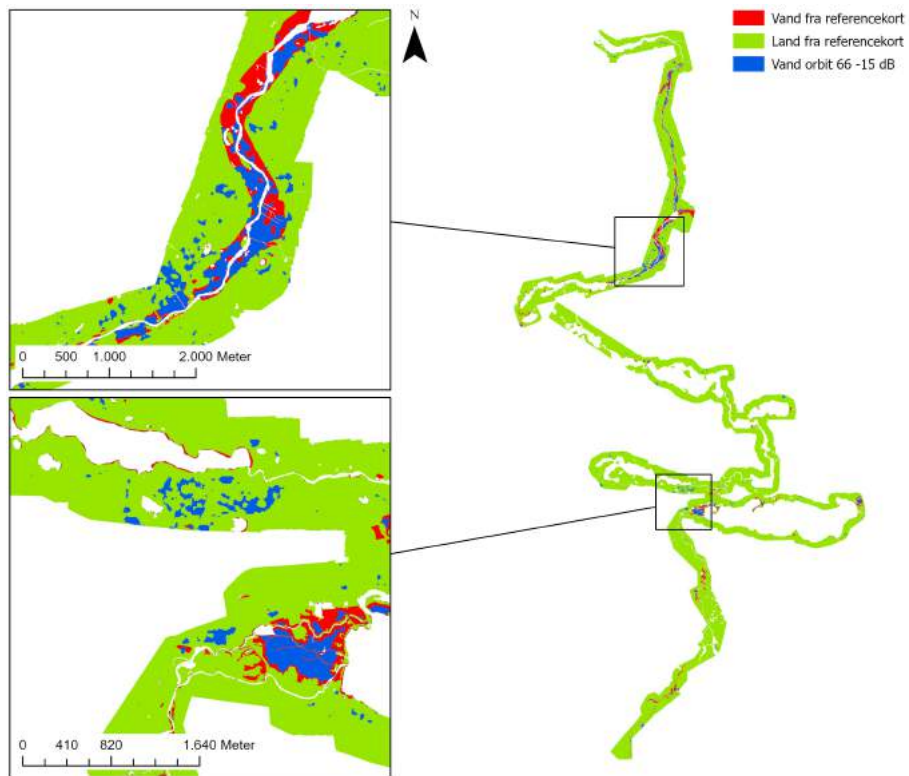
Figur 7.7. Oversvømmelseskort for grænseværdien -15 dB for orbit 44 fra Threshold-konceptet.



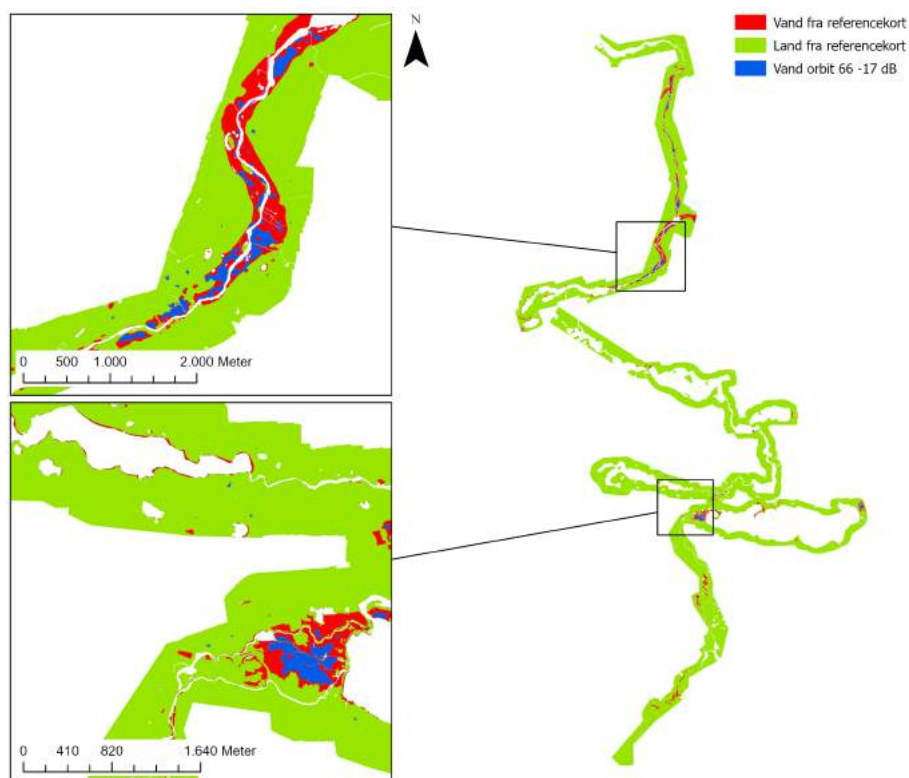
Figur 7.8. Oversvømmelseskort for grænseværdien -17 dB for orbit 44 fra Threshold-konceptet.



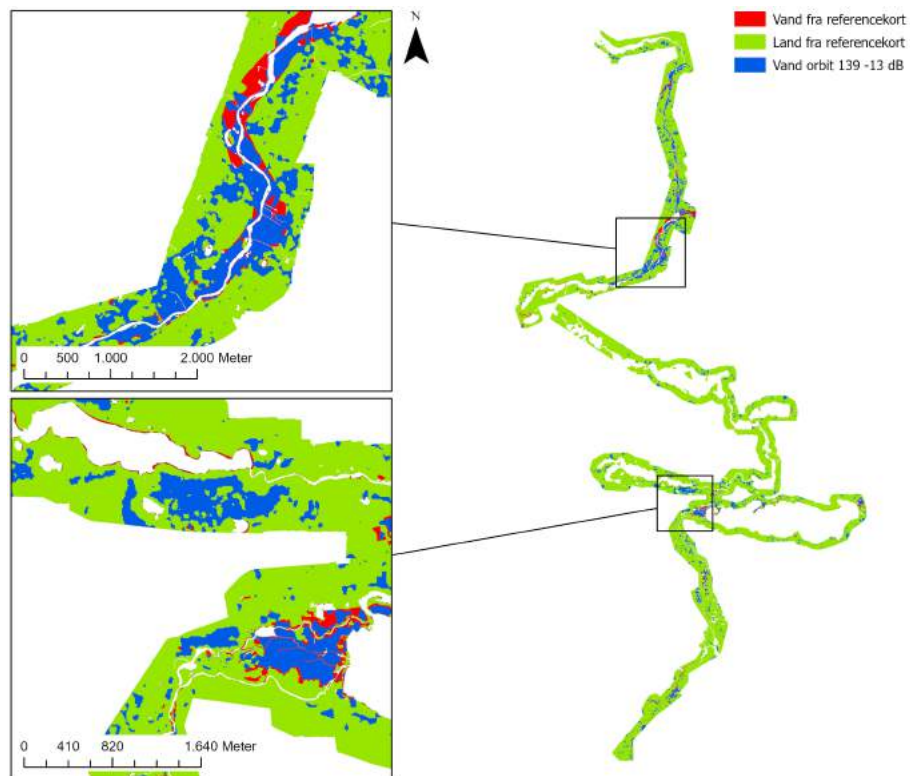
Figur 7.9. Oversvømmelseskort for grænseværdien -13 dB for orbit 66 fra Threshold-konceptet.



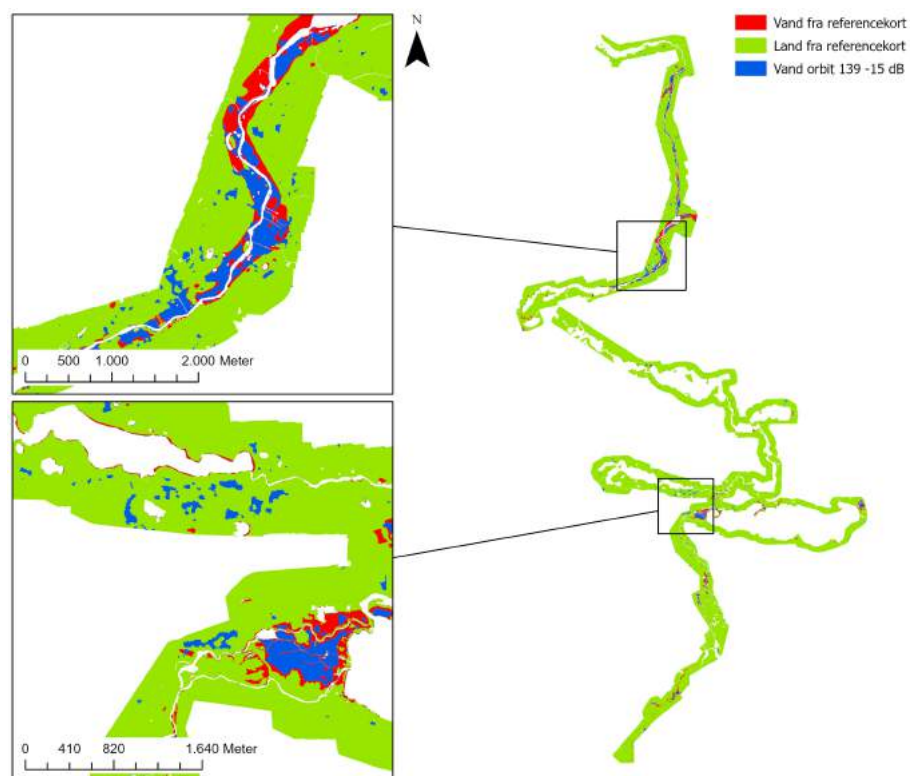
Figur 7.10. Oversvømmelseskort for grænseværdien -15 dB for orbit 66 fra Threshold-konceptet.



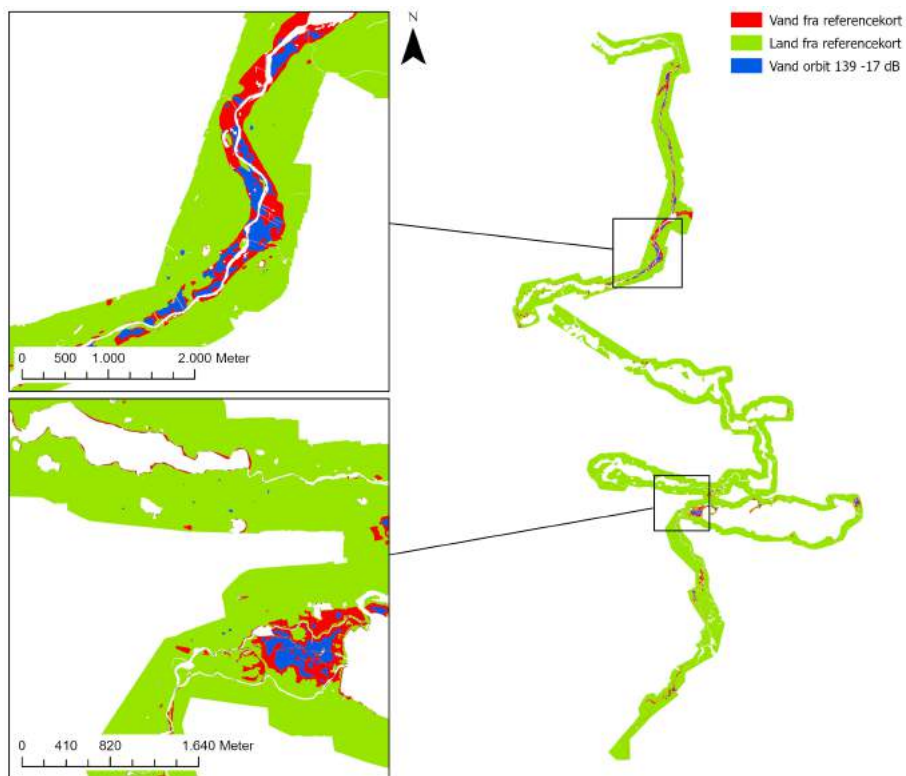
Figur 7.11. Oversvømmelseskort for grænseværdien -17 dB for orbit 66 fra Threshold-konceptet.



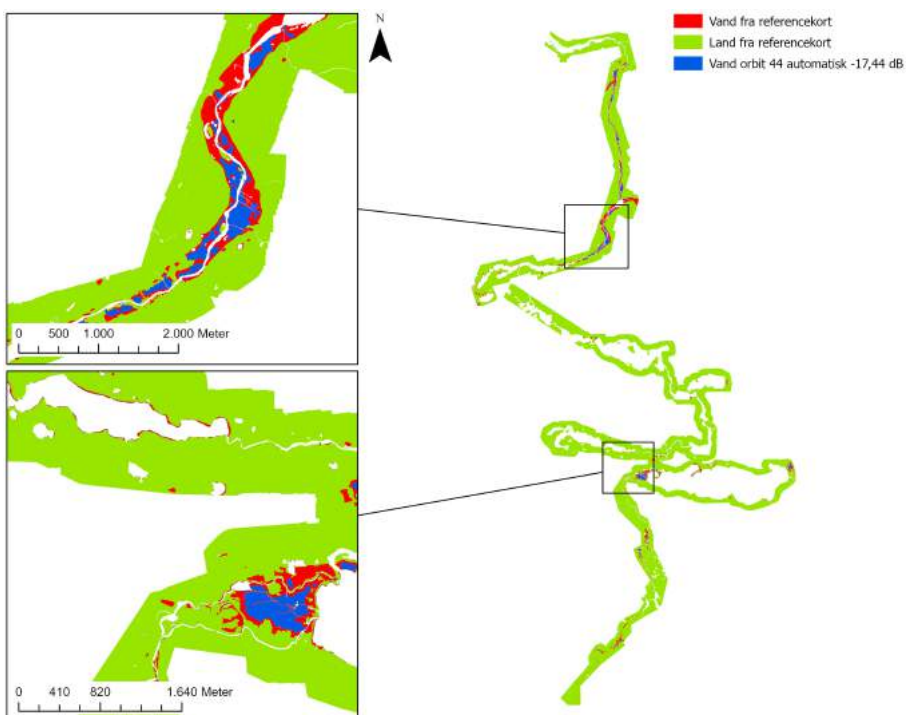
Figur 7.12. Oversvømmelseskort for grænseværdien -13 dB for orbit 139 fra Threshold-konceptet.



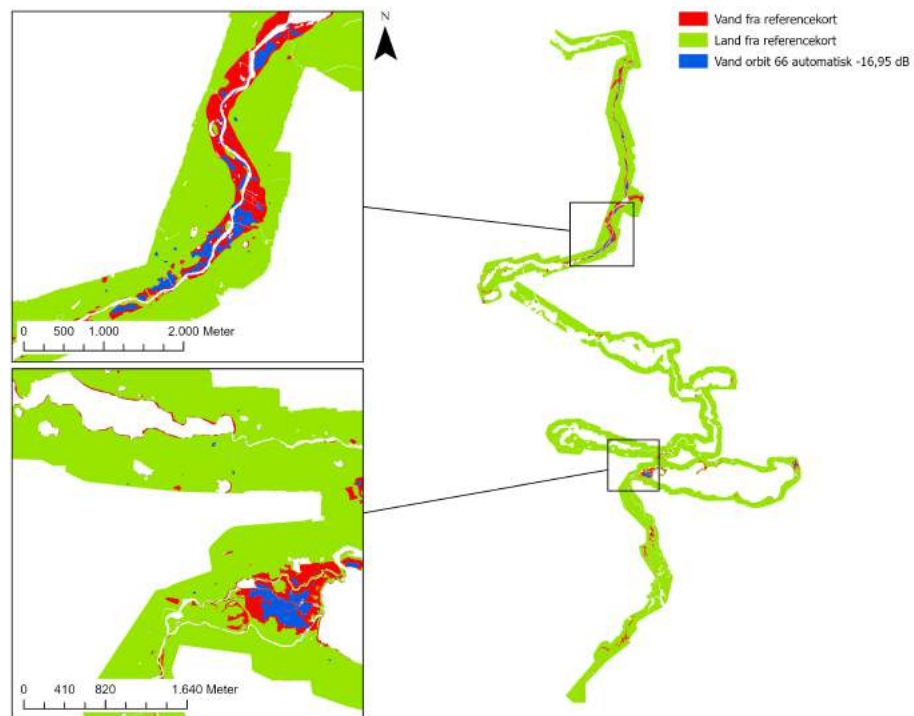
Figur 7.13. Oversvømmelseskort for grænseværdien -15 dB for orbit 139 fra Threshold-konceptet.



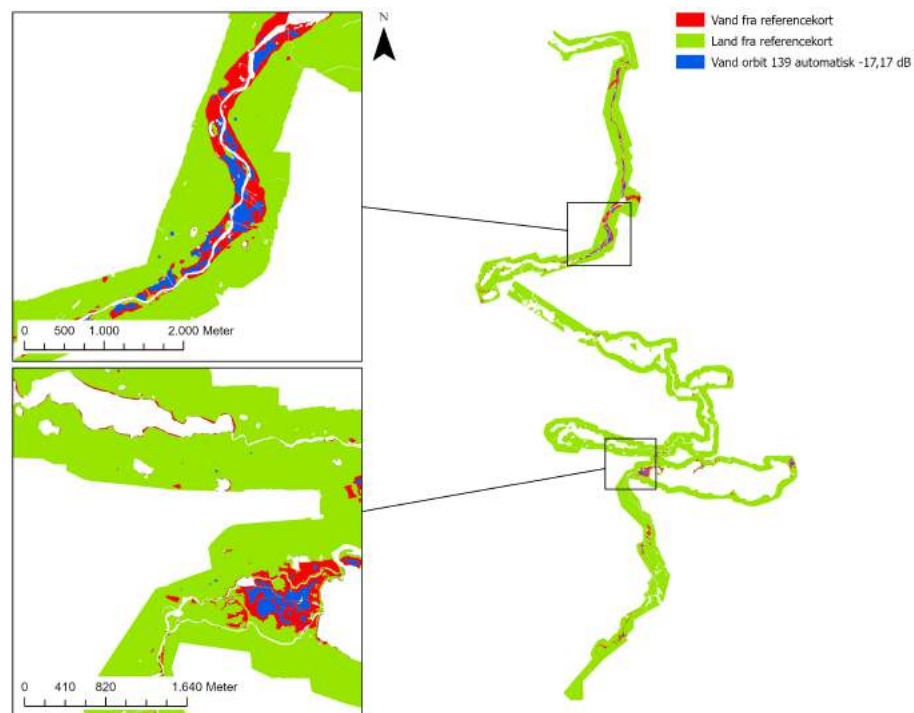
Figur 7.14. Oversvømmelseskort for grænseværdien -17 dB for orbit 139 fra Threshold-konceptet.



Figur 7.15. Oversvømmelseskort for automatisk thresholding med en grænseværdi på -17,44 dB for orbit 44 fra Threshold-konceptet.



Figur 7.16. Oversvømmelseskort for automatisk thresholding med en grænseværdi på -16,95 dB for orbit 66 fra Threshold-konceptet.



Figur 7.17. Oversvømmelseskort for automatisk thresholding med en grænseværdi på -17,17 dB for orbit 139 fra Threshold-konceptet.

7.2.2 Change Detection

I tabel 7.8, 7.9 og 7.10 ses resultaterne for de to nøjagtigheder og de tre klasser for henholdsvis orbit 44, 66 og 139 for Change Detection-konceptet. Herudover ses nøjagtigheder for "Hændelsen", som er nøjagtigheden af oversvømmelseskortet inden fejlområde-kortlaget er anvendt til at fjerne fejlestimeringer.

Umiddelbart er det kun fejlområde-kortlaget for orbit 66 der har givet en ændring i nøjagtighed af kortlægningen af vand. Her ses en forbedring på 6% i klassen 60-100% og en forbedring på 3% i klassen 70-100%. Derved har fjernelsen af de fundne fejlområder giver en mere nøjagtig estimering af hvad der er vand i orbit 66. Producer accuracy for samme klasser har en ændring på henholdsvis 0,6% og 0,4%, så der findes ikke betydeligt mere eller mindre af det totale oversvømmelsesramte areal. Ovenstående er ikke tilfældet for orbit 44 og orbit 139, og resultatet er derfor ikke som forventet. Selvom der ikke ses en forbedring for disse, betyder det ikke nødvendigvis, at fejlområde-kortlaget ikke virker. Grunden til dette er, at de fleste fundne fejlområder på satellitbillederne ikke er inden for projektområdet. Der er dog stadig en del fejlområder inden for projektområdet, som Change Detection-konceptet ikke har formået at finde med de valgte klasser og den valgte grænseværdi.

Resultater for orbit 44				
Klasse/ Nøjagtighedstype	Hændelsen	60-100%	70-100%	80-100%
User accuracy [%]	86,1	85,3	85,2	85,1
Producer accuracy [%]	43,3	42,4	42,4	42,4

Tabel 7.8. Resultater fra Confusion Matrix med nøjagtighederne user- og producer accuracy i procent. Værdier for "Hændelsen" er nøjagtighederne inden fjernelse af fejlområde-kortlagene.

Resultater for orbit 66				
Klasse/ Nøjagtighedstype	Hændelsen	60-100%	70-100%	80-100%
User accuracy [%]	59,4	65,3	62,3	60,4
Producer accuracy [%]	36,1	35,5	35,7	35,8

Tabel 7.9. Resultater fra Confusion Matrix med nøjagtighederne user- og producer accuracy i procent.

Resultater for orbit 139				
Klasse/ Nøjagtighedstype	Hændelsen	60-100%	70-100%	80-100%
User accuracy [%]	67,0	67,3	67,1	67,0
Producer accuracy [%]	41,8	41,1	41,1	41,1

Tabel 7.10. Resultater fra Confusion Matrix med nøjagtighederne user- og producer accuracy i procent.

Hvis der ses på de forskellige orbit har orbit 44 den højeste start user- og producer accuracy for hændelsen. Så både med og uden fejlområder er den forholdsvis god til at finde vandet.

Grunden til dette kan være en række forskellige parametre og forhold der gør sig gældende, men det vurderes især at være på baggrund af forskellen i incident vinklen mellem de tre baner. I tabel 7.11 ses forskellen mellem incident vinklerne i de tre baner, både for nær og fjern punkterne. Umiddelbart er forskellen ikke stor, men selv en lille ændring i incident vinklen kan have en betydelig effekt på backscatter. Det største spænd mellem nær og fjern er for orbit 139, som har et spænd på 16,138°.

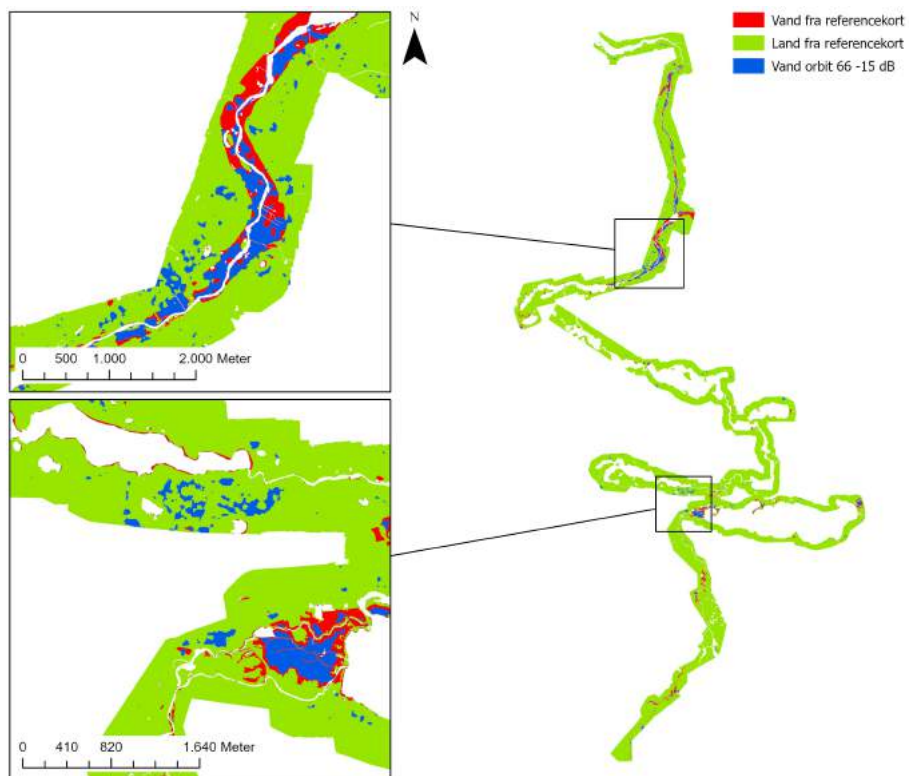
Incident vinkler			
Nær eller fjern/ orbit	Nær [°]	Fjern [°]	Forskel [°]
44	29,947	45,948	16,001
66	29,989	45,961	15,972
139	29,838	45,976	16,138

Tabel 7.11. Incident vinkler i grader for orbit 44, 66 og 139 fundet fra de anvendte satellitbilleders metadata i SNAP Desktop. "Forskel" er forskellen mellem nær og fjern vinklerne.

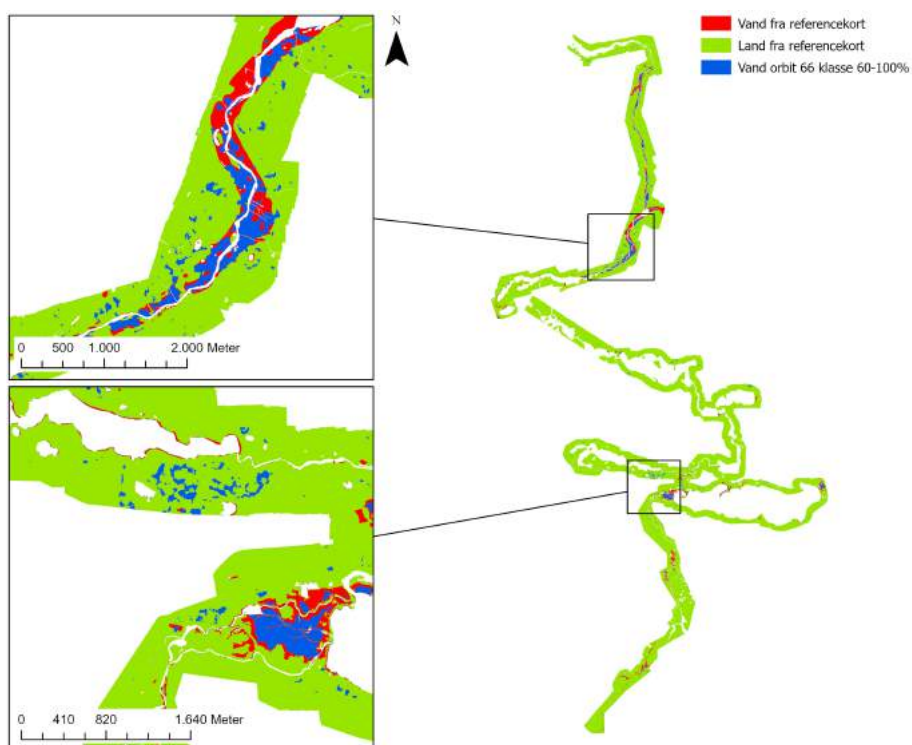
Korteksempler

For at visualisere resultatet fra Change Detection-konceptet vil der gives eksempler for orbit 66, da der kun ses en betydelig ændring i areal for orbit 66. De resterende kort for de andre orbit kan ses i appendiks E2 på side 149.

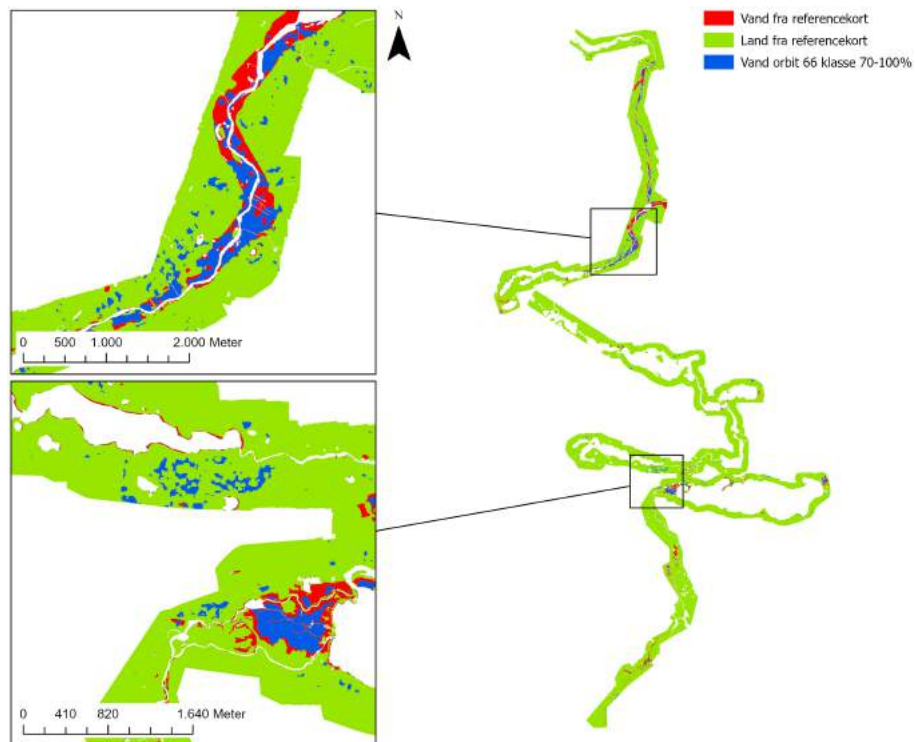
På figur 7.18 ses et oversvømmelseskort fra Threshold-konceptet (= "Hændelsen" i tabellerne) der er anvendt til at sammenligne oversvømmelseskort før fjernelse af fejlområder med oversvømmelseskort efter fjernelse i Change Detection-konceptet, og det er derfor oversvømmelseskortet med grænseværdien -15 dB, da den værdi også anvendes for Change Detection. Ved at sammenligne denne figur med figurene 7.19, 7.20 og 7.21, som er resultatet for Change Detection-konceptet for klasserne 60-100%, 70-100% og 80-100%, kan der ses en ændring i arealerne i de områder der er vist tæt på. Det er ikke en tydelig forskel, da ændringen ikke er stor. Hvis der ses på figur 7.18 og 7.19 i de nederste kasser til venstre i figurene, kan der anes en lille forskel mellem området til venstre for den store samling af vand fra referencekortet. Dette er et eksempel på et fejlområde der er fjernet. I klassen 80-100% på figur 7.21 er det kun et lille stykke af dette fejlområde der er blevet fjernet, hvilket viser, hvorfor klassen 60-100% er bedre. Kortene viser altså også, at der stadig er en del fejlområder, som ikke er blevet fjernet med de anvendte klasser.



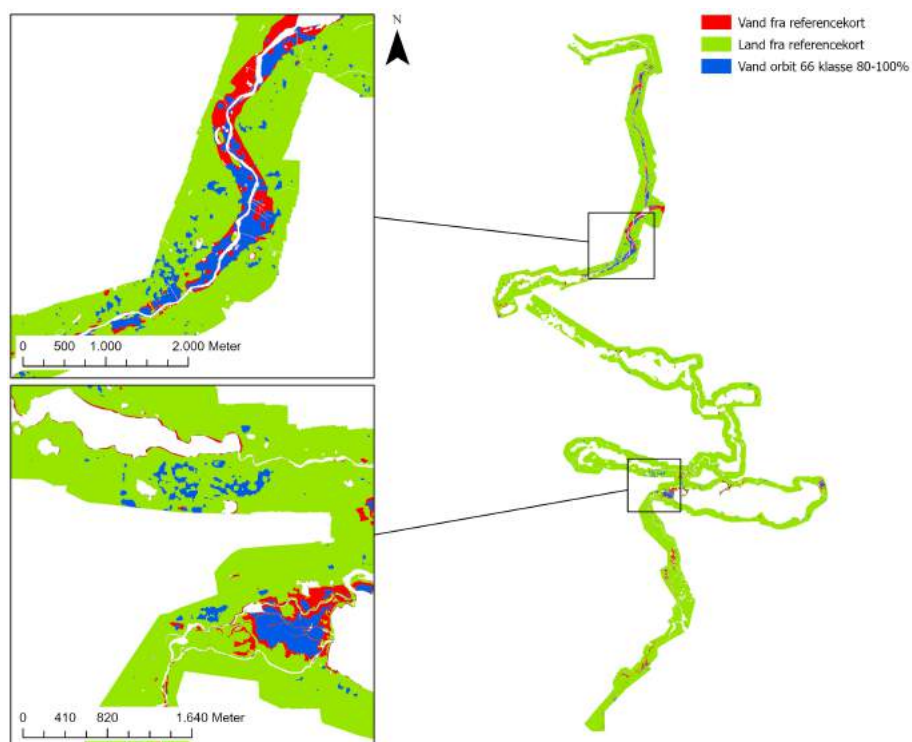
Figur 7.18. Oversvømmelseskort for grænseværdien -15 dB for orbit 66, der bruges som sammenligning til klasserne, og kaldes *Hændelsen* i tabellerne.



Figur 7.19. Oversvømmelseskort for klassen 60-100% for orbit 66 fra Change Detection-konceptet.



Figur 7.20. Oversvømmelseskort for klassen 70-100% for orbit 66 fra Change Detection-konceptet.



Figur 7.21. Oversvømmelseskort for klassen 80-100% for orbit 66 fra Change Detection-konceptet.

7.3 Sammenligning af monitoreringskoncepterne

Dette afsnit vil indeholde en sammenligning af resultaterne fra monitoreringskoncepterne for at vurdere hvilket koncept der giver det bedste resultat. Da alle resultaterne fra begge koncepter allerede er givet i de førhenstående afsnit, vil der i dette afsnit trækkes de vigtigste resultater ned. Sammenligningen vil derudover også omhandle det tidsmæssige aspekt. Dette gøres for at vurdere om et højere tidsforbrug giver en tilpas højere præcision.

Resultatet for Thresholding-konceptet viste, at den bedste user- og producer accuracy opnås ved grænseværdierne -13,28 dB, -14,25 dB og -14,19 dB for henholdsvis orbit 44, 66 og 139, der blev fundet ved at se på skæringen mellem user- og producer accuracy i graferne. Dette er en antagelse, da det kan være forskelligt i forhold til om en højere user- eller producer accuracy ønskes, eller omvendt. Samtidig viste konceptet også, at der ikke kunne opnås både en høj user accuracy og en høj producer accuracy på samme tid. Dette betyder altså, at hvis der skal være en tilstrækkelig høj user accuracy, så aktøren kan være sikker på, at det der kortlægges som vand, faktisk er vand, så er det kun en lille del af det totale rigtige vand fra referencekortet, der bliver fundet. Hvis det ønskes at være eksempelvis 85% sikker på, at konceptet kortlægger korrekt vand, så findes der kun omkring 20-30% af alt rigtig vand for orbit 66 og 139. Hvis den samme nøjagtighed ønskes for orbit 44, finder den dog omkring 43%, og derved er orbit 44 altså bedre end de to andre orbit. Den automatiske grænseværdi for hver orbit har givet en god user accuracy, men finder kun lidt rigtig vand, og derfor er disse ikke optimale at anvende, på trods af, at et resultat for dem kan findes hurtigt. I tabel 7.12 ses fordelingen af rigtige og forkerte klassificerede vand-celler ud af den totale mængde for referencekortet på 53.783, der blev oplyst tidligere. Det ses igen, at orbit 44 generelt er den bedste til at kortlægge vand, da den har den laveste værdi for %-forkerte ift. rigtige for hver grænseværdi.

Antal fundne vand-celler									
Grænseværdi [dB]	Orbit 44			Orbit 66			Orbit 139		
	Rigtige	Forkerte	%-forkerte ift. rigtige	Rigtige	Forkerte	%-forkerte ift. rigtige	Rigtige	Forkerte	%-forkerte ift. rigtige
-13	31.732	15.580	49,1	30.441	22.831	75,0	32.861	23.200	70,6
-15	23.288	3.237	13,9	19.416	7.883	40,6	22.481	7.419	33,0
-17	16.081	675	4,2	10.004	480	4,8	12.962	674	5,2

Tabel 7.12. Antal fundne vand-celler for Threshold-konceptet ud af total 53.783 fra referencekortet for grænseværdierne -13, -15 og -17 dB. Orbit 44 viser den bedste nøjagtighed for alle grænseværdier af de tre orbit.

For Change Detection-konceptet blev det fundet, at orbit 66 var den eneste der blev mere nøjagtig efter fjernelse af fejlområderne. Dog er der kun testet for tre mulige klasser, og en enkelt grænseværdi. Derfor kan det ikke siges, at Change Detection-konceptet er unødvendig for de andre orbit eller, at nøjagtigheden af orbit 66 kan blive endnu bedre, uden at teste en ændring af disse parametre. I tabel 7.13 ses antallet af fundne vand-celler for Change Detection-konceptet for hver orbit. Det ses, at hverken orbit 44 eller 139 finder betydeligt mindre forkerte celler i de anvendte klasser. Orbit 66 præciserer derimod antallet af rigtige celler med op til 5,9%.

Antal fundne vand-celler									
Klasse	Orbit 44			Orbit 66			Orbit 139		
	Rigtige	Forkerte	%-forkerte ift. rigtige	Rigtige	Forkerte	%-forkerte ift. rigtige	Rigtige	Forkerte	%-forkerte ift. rigtige
Hændelsen	23.288	3.237	13,9	19.416	7.883	40,6	22.481	7.419	33,0
60-100%	22.803	3.352	14,7	19.093	6.625	34,7	22.105	7.228	32,7
70-100%	22.803	3.375	14,8	19.201	7.239	37,7	22.105	7.273	32,9
80-100%	22.803	3.397	14,9	19.254	7.625	39,6	22.105	7.273	32,9

Tabel 7.13. Antal fundne vand-celler for Change Detection-konceptet ud af total 53.783 fra referencekortet for oversvømmelseshændelsen inden fjernelse af fejlområder og efter for klasserne 60-100%, 70-100% og 80-100%. Orbit 66 er den eneste der viser et betydeligt fald i fejlklassificeringer.

Det vil altså sige, at Change Detection-konceptet kun forbedrer resultaterne for orbit 66, og vil derfor ikke betyde noget at anvende for orbit 44 og 139. Derfor vil det være tilstrækkelig at anvende Thresholding-konceptet med den optimale grænseværdi for orbit 44 og 139 (alt efter hvilken user- og producer accuracy der ønskes), mens Change Detection-konceptet anvendes for orbit 66. De forskellige orbit kan ikke krydses, da forskellige orbit, som nævnt, ikke har de samme incident vinkler. Derfor vil valget på koncept være på baggrund af hvilket orbit et eventuelt satellitbillede for en oversvømmelseshændelse har.

Processen for de to koncepter har en betydelig forskel i hvor lang tid produktionen af oversvømmelseskortene tager. Bearbejdningstrinene beskrevet i afsnit 4.2 tager omkring 15 min per kort afhængigt af hvilken computer, der anvendes. Dette betyder altså, at alene bearbejdningen af tidsserien for hver orbit tager omkring 7,5 timer for en normal computer og altså 22,5 timer for alle orbit. I dette projekt er der anvendt en computer med en AMD Ryzen 7 5800H processor og et NVIDIA GeForce RTX 3070 grafikort, der har resulteret i en bearbejdningstid på omkring 7 min for hvert satellitbillede. For Thresholding-konceptet skal der kun bearbejdes ét kort for hver orbit, og er derfor betydeligt hurtigere. Fejlområde-kortlaget skal dog ikke opdateres konstant, så det vil kun være startfasen af arbejdsprocessen, samt opdateringen af fejlområde-kortlaget for Change Detection-konceptet der tager lang tid. I dette er tiden det tager for brugeren og eksperten at sætte sig ind i emnet og de anvendte værktøjer ikke talt med, hvilket forventes at give et betydeligt højere tidsforbrug.

Nu er spørgsmålet om de samme resultater fra dette kapitel vil kunne findes med en hurtigere valideringsmetode, og netop dette vil næste kapitel omhandle.

Kan Overlapanalysen erstatte Confusion Matrix?

8

I dette kapitel vil der undersøges hvorvidt Overlapanalysen kan producere de samme nøjagtigheder og konklusioner som Confusion Matrix gjorde. Overlapanalysen er en valideringsmetode, der er lettere og hurtigere at udføre og derfor relevant at undersøge, hvis en eventuel bruger ikke har tid eller de nødvendige GIS-kendskaber det ville kræve at udarbejde en Confusion Matrix.

De to valideringsmetoder kan direkte relateres til hinanden, da Overlapanalysen viser værdier for forskellen i vandets arealer mellem rigtig og forkert vand, og Confusion Matrix viser de procentvise forskelle. Derved kan arealforskellen fra Overlapanalysen omregnes til procenter, som kan sammenlignes med user- og producer accuracy fra Confusion Matrix. Den store forskel på de to valideringsmetoder er, at Confusion Matrix tager forbehold for forskellen i celledørrelse, da der oprettes ét punkt for hver 10x10 m celle, hvilket også var grunden til, at den blev vurderet som den bedste valideringsmetode. Det forventes derfor, at Overlapanalysen ikke har en ligeså god præcision, så spørgsmålet er hvor godt den kan validere koncepterne.

8.1 Præsentation af resultater fra Overlapanalysen

I det følgende afsnit vil der være en gennemgang af valideringen med Overlapanalysen af monitoreringskoncepterne. Heri vil resultaterne af arealerne blive vist i tabeller, hvor der til sidst i sammenligningen af valideringsmetoderne i afsnit 8.2 omregnes til user- og producer accuracy. Valideringsmetoden resulterer i tabeller, der viser resultaterne for det totale oversvømmede areal, areal af forkert vand og areal af rigtig vand for hver orbit. Forkert vand er det areal, der ikke overlappes af både oversvømmelseskort og referencekort. Rigtig vand er det areal som overlappes af både oversvømmelseskort og referencekortet. På referencekortet blev det fundet, at de oversvømmede områder har et areal på 5,371 km², det er dette areal som resultaterne holdes op imod.

8.1.1 Thresholding

Tabel 8.1 viser resultaterne for Manuel Thresholding for orbit 44, og hvis der kigges på det totale oversvømmede areal, viser det, at arealet mindskes betydeligt ved lavere grænseværdier. Grænseværdien -13 dB har et total oversvømmet areal på 5,922 km², som kommer tæt på referencekortets oversvømmede areal på 5,371 km². -13 dB har også det største areal af forkert vand på 2,908 km² og derved et areal rigtig vand på 3,014 km². Ligesom ved totale oversvømmede arealer, så falder arealet for forkert- og rigtig vand ligeledes med grænseværdien, men forskellen på totale oversvømmede arealer og rigtig

vand bliver betydelig mindre ved en lavere grænseværdi. Ved grænseværdien -15 dB er arealet af totale oversvømmede arealer mere end halveret i forhold til -13 dB, og har et areal på $2,565 \text{ km}^2$. Med et areal forkert vand på $1,760 \text{ km}^2$ får -15 dB et areal rigtig vand på $2,804 \text{ km}^2$, som ikke er meget mindre end -13 dB. Den laveste grænseværdi -17 dB, opnår kun en værdi for totale oversvømmede arealer på $1,591 \text{ km}^2$, og har et lille areal forkert vand på $0,067 \text{ km}^2$, hvilket gør, at arealet for rigtig vand med et areal på $1,524 \text{ km}^2$ og det fundne totale oversvømmede arealer er næsten ens. Ved Automatisk Thresholding blev grænseværdien fundet til -17,44 dB, hvilket gav en værdi for totale oversvømmede arealer på $1,432 \text{ km}^2$, hvilket er en betydeligt lille mængde oversvømmet areal i forhold til referencekortet. Selvom der var et minimalt areal forkert vand, så endte rigtig vand kun på $1,384 \text{ km}^2$, hvilket er 25,77% af referencekortets oversvømmede areal.

Resultater for orbit 44			
Grænseværdi [dB]	Totale oversvømmede arealer [km^2]	Forkert vand [km^2]	Rigtig vand [km^2]
-13	5,922	2,908	3,014
-13,5	4,564	1,760	2,804
-14	3,630	1,035	2,595
-14,5	3,000	0,605	2,395
-15	2,565	0,359	2,206
-15,5	2,251	0,228	2,023
-16	1,996	0,145	1,851
16,5	1,784	0,099	1,685
-17	1,591	0,067	1,524
Automatisk: -17,44	1,432	0,048	1,384

Tabel 8.1. Resultater for totale oversvømmede arealer, forkert vand og rigtig vand i km^2 ved hver grænseværdi i dB fra Overlapanalysen.

Den næste tabel 8.2 viser samme tendenser som for orbit 44; at hvis grænseværdien sænkes, så falder værdierne for totale oversvømmede arealer, forkert vand og rigtig vand også. Forskellen her er, at orbit 66 finder en betydelig større mængde totale oversvømmede arealer end orbit 44, hvor -13 dB ved orbit 66 finder 11.521 km^2 . Dette viser, at orbit 66 laver en betydelig overestimering på 214,5%. Grænseværdien -13 dB har et areal forkert vand på $8,627 \text{ km}^2$, og et areal rigtig vand på $2,894 \text{ km}^2$. Hvis der kigges på grænseværdien -15 dB finder den $3,097 \text{ km}^2$ totale oversvømmede arealer og et areal forkert vand på $1,255 \text{ km}^2$, hvilket giver et areal rigtig vand på $1,842 \text{ km}^2$. Ved den laveste grænseværdi -17 dB er værdien for totale oversvømmede arealer på $0,997 \text{ km}^2$, hvilket er langt fra referencekortet og selvom der er et minimal areal forkert vand på $0,048 \text{ km}^2$, ender arealet af rigtig vand kun på $0,949 \text{ km}^2$, hvilket er 17,67% af referencekortets oversvømmede areal. Automatisk Thresholding fandt en grænseværdi på -16,95 dB, som resulterede i en værdi for totale oversvømmede arealer på $1,022 \text{ km}^2$ og med et areal forkert vand på $0,054 \text{ km}^2$, findes kun $0,968 \text{ km}^2$ rigtig vand, hvilket er 18,02% af de $5,371 \text{ km}^2$ vand fra referencekortet.

Resultater for orbit 66			
Grænseværdi [dB]	Totale oversvømmede arealer [km^2]	Forkert vand [km^2]	Rigtig vand [km^2]
-13	11,521	8,627	2,894
-13,5	8,412	5,794	2,618
-14	6,054	3,705	2,349
-14,5	4,346	2,254	2,092
-15	3,097	1,255	1,842
-15,5	2,221	0,621	1,600
-16	1,646	0,281	1,365
16,5	1,260	0,117	1,143
-17	0,997	0,048	0,949
Automatisk: -16,95	1,022	0,054	0,968

Tabel 8.2. Resultater for totale oversvømmede arealer, forkert vand og rigtig vand i km^2 ved hver grænseværdi i dB fra Overlapanalysen.

Den sidste tabel 8.3 viser resultaterne for orbit 139, og viser ligesom orbit 66 en overestimering af totale oversvømmede arealer ved -13 dB med et areal på $10,590 km^2$. For grænseværdien -13 dB er resultatet for forkert vand et areal på $7,472 km^2$, og et areal rigtig vand på $3,118 km^2$. Grænseværdien -15 dB finder en værdi for totale oversvømmede arealer på $3,183 km^2$ og et areal forkert vand på $1,053 km^2$, og derved ender -15 dB med et areal rigtig vand på $2,130 km^2$. Ved den laveste grænseværdi -17 dB er arealet af total oversvømmede arealer på $1,298 km^2$, hvilket er langt fra referencekortet og selvom der er et minimal areal forkert vand på $0,069 km^2$, ender arealet af rigtig vand kun på $1,229 km^2$, hvilket er 22,9% af referencekortets oversvømmede areal. Ved Automatisk Thresholding findes grænseværdien til at være -17,17 dB, som viser samme tendens som de to forrige orbit; at det er en lille mængde totale oversvømmede arealer, forkert vand og rigtig vand der findes ud af referencekortets areal. Resultatet af den automatiske grænseværdi er en værdi for totale oversvømmede arealer på $1,212 km^2$ og fratrukket forkert vand på $0,055 km^2$, ender rigtig vand på $1,157 km^2$, hvilket er 21,5% af de $5,371 km^2$ vand fra referencekortet.

Resultater for orbit 139			
Grænseværdi [dB]	Totale oversvømmede arealer [km^2]	Forkert vand [km^2]	Rigtig vand [km^2]
-13	10,590	7,472	3,118
-13,5	7,821	4,954	2,867
-14	5,746	3,134	2,612
-14,5	4,237	1,870	2,367
-15	3,183	1,053	2,130
-15,5	2,456	0,555	1,901
-16	1,944	0,272	1,672
16,5	1,578	0,132	1,446
-17	1,298	0,069	1,229
Automatisk: -17,17	1,212	0,055	1,157

Tabel 8.3. Resultater for totale oversvømmede arealer, forkert vand og rigtig vand i km^2 ved hver grænseværdi i dB fra Overlapanalysen.

Ud fra de viste resultater findes det, at for alle tre orbit falder arealerne i takt med grænseværdien. Orbit 66 og 139 viser en klar overestimering ved de høje grænseværdier i forhold til orbit 44. Dette resulterer også i store arealer forkert vand for orbit 66 og 139. Hvilken grænseværdi der er bedst, kommer an på hvor stort et areal af forkert vand og rigtig vand der ønskes, da et lille areal forkert vand også resulterer i et lille areal rigtig vand.

8.1.2 Change Detection

I de følgende tabeller er resultaterne af valideringen med Overlapanalyse af Change Detection vist. I den første tabel 8.4 er resultaterne for orbit 44 vist. Orbit 44 finder $3,183 \text{ km}^2$ totale oversvømmede arealer, som allerede inden fjernelse af forkert vand, er omkring halvdelen af det rigtige vand fra referencekortet. Orbit 44 finder et areal forkert vand på mellem $0,715$ og $0,722 \text{ km}^2$. Forskellen mellem klasserne er ikke stor, hvor forskellen på den mængde areal af rigtig vand som findes er på $0,003 \text{ km}^2$ mellem 60-100% og 80-100%. Derimod er der en forskel på $0,250 \text{ km}^2$ mellem hændelsen og 80-100%. Klasserne i fejlområde-kortlaget giver altså ikke en betydelig ændring for orbit 44, men giver en lille forbedring i forhold til hændelsen.

Resultater for orbit 44			
Klasse	Totale oversvømmede arealer [km^2]	Forkert vand [km^2]	Rigtig vand [km^2]
Hændelsen	2,565	0,359	2,206
60-100%	2,610	0,157	2,453
70-100%	2,615	0,160	2,455
80-100%	2,620	0,164	2,456

Tabel 8.4. Resultater fra Overlapanalysen for totale oversvømmede arealer, forkert vand og rigtig vand i km^2 ved hver klasse.

I tabel 8.5 ses resultaterne for orbit 66, og her er det totale oversvømmede areal større end for orbit 44, og er derfor tættere på referencekortets oversvømmede areal. Tilgængæld er der et større areal af forkert vand ved orbit 66, hvilket gør, at den mængde areal rigtig vand der findes for orbit 66 er betydelig mindre end for orbit 44. Forskellen mellem klasserne viser, at 80-100% finder et større areal af totale oversvømmede arealer og et større areal forkert vand end de to andre klasser, men til gengæld finder 80-100% også mere rigtig vand, hvor forskellen mellem 60-100% og 80-100% er $0,102 \text{ km}^2$. Forskellen fra før og efter fratrækning af fejlområde-kortlaget med klassen 80-100% for rigtig vand er $0,365 \text{ km}^2$, og viser en større forbedring end orbit 44.

Resultater for orbit 66			
Klasse	Totale oversvømmede arealer [km^2]	Forkert vand [km^2]	Rigtig vand [km^2]
Hændelsen	3,097	1,255	1,842
60-100%	2,844	0,739	2,105
70-100%	2,999	0,858	2,141
80-100%	3,103	0,896	2,207

Tabel 8.5. Resultater fra Overlapanalysen for totale oversvømmede arealer, forkert vand og rigtig vand i km^2 ved hver klasse.

Den sidste tabel 8.6 viser resultaterne for orbit 139. Ved denne orbit findes det, at det totale oversvømmede areal er tættere på referencekortets $5,371 \text{ km}^2$ end de to andre orbit, hvor klassen 80-100% har fundet $3,225 \text{ km}^2$. Ligesom ved orbit 66 finder orbit 139 en betydelig mængde mere areal forkert vand end orbit 44, men til gengæld finder orbit 139 også mere rigtigt vand end både orbit 44 og orbit 66. Der er ikke den store forskel mellem klasserne ved orbit 139, men 80-100% finder mere rigtigt vand end de to andre klasser, uden at finde betydeligt mere forkert vand. Klassen 80-100% finder $2,503 \text{ km}^2$ rigtig vand, som er $0,373 \text{ km}^2$ mere end fra før fratrækningen af fejlområderne, og har altså den højeste forbedring af de tre orbit.

Resultater for orbit 139			
Klasse	Totale oversvømmede arealer [km^2]	Forkert vand [km^2]	Rigtig vand [km^2]
Hændelsen	3,183	1,053	2,130
60-100%	3,203	0,715	2,488
70-100%	3,217	0,723	2,494
80-100%	3,225	0,722	2,503

Tabel 8.6. Resultater fra Overlapanalysen for totale oversvømmede arealer, forkert vand og rigtigt vand i km^2 ved hver klasse.

8.2 Sammenligning af valideringsmetoderne

I tabellerne 8.7, 8.8 og 8.9 ses en sammenligning af udregnede user- (rigtig vand/total oversvømmet areal) og producer accuracy (rigtig vand/vand fra referencekort) fra Overlapanalysen og de tilhørende værdier fra Confusion Matrix for de tre orbit i Thresholding-konceptet. Det ses, at user accuracy giver næsten den samme værdi for begge valideringsmetoder med en forskel på kun $\pm 0,1\%$. Den hurtige Overlapanalyse, vil altså være tilstrækkelig at anvende, hvis det kun er user accuracy for Thresholding-konceptet, der ønskes at finde. For producer accuracy er der et større fald i nøjagtigheden imellem de to valideringsmetoder. Det ses, at producer accuracy har en maksimal forskel på $3,0\%$ ved grænseværdien -13 dB for orbit 139, mens de resterende grænseværdier for alle orbit har en forskel på mellem $0,9\%$ og $2,9\%$. Overlapanalysen finder altså ikke den helt rigtige producer accuracy, og der vil skulle foretages et valg, om hvorvidt den lavere præcision af producer accuracy opvejes af det hurtigere resultat. Det kan desuden diskuteres hvor stor et fald i præcision der skal til, før det er nødvendigt at bruge Confusion Matrix, da fald på $0,9-3,0\%$ ikke lyder af meget.

Thresholding - Orbit 44				
Grænseværdi [dB]	Overlapanalyse		Confusion matrix	
	User [%]	Producer [%]	User [%]	Producer [%]
-13	50,9	56,1	50,9	59,0
-15	86,0	41,1	86,1	43,3
-17	95,8	28,4	95,8	29,9

Tabel 8.7. Resultat fra Overlapanalyse og Confusion Matrix for orbit 44 for Thresholding-konceptet. Ingen betydelig ændring i user accuracy; $\pm 0,1$, mens producer accuracy har en ændring på $1,5-2,9\%$.

Thresholding - Orbit 66				
	Overlapanalyse		Confusion matrix	
Grænseværdi [dB]	User [%]	Producer [%]	User [%]	Producer [%]
-13	25,1	53,9	25,0	56,6
-15	59,5	34,3	59,4	36,1
-17	95,2	17,7	95,2	18,6

Tabel 8.8. Resultat fra Overlapanalyse og Confusion Matrix for orbit 66 for Thresholding-konceptet. User accuracy har en ubetydelig ændring på $\pm 0,1$, og producer accuracy har en ændring på 0,9-2,7%.

Thresholding - Orbit 139				
	Overlapanalyse		Confusion matrix	
Grænseværdi [dB]	User [%]	Producer [%]	User [%]	Producer [%]
-13	29,4	58,1	29,4	61,1
-15	66,9	39,7	67,0	41,8
-17	94,7	22,9	94,8	24,1

Tabel 8.9. Resultat fra Overlapanalyse og Confusion Matrix for orbit 139 for Thresholding-konceptet. Ubetydelig ændring i user accuracy på $\pm 0,1$ og en ændring i producer accuracy på 1,2-3,0%.

I tabellerne 8.10, 8.11 og 8.12 ses user- og producer accuracy udregnet fra arealer af Overlapanalysen af Change Detection-konceptet og de samme værdier fra Confusion Matrix. Her ses der en noget større forskel mellem nøjagtighederne fra hver valideringsmetode. User accuracy har en forskel på mellem 8,6% og 10,7%, og producer accuracy har en forskel på mellem 3,3% og 5,5%. For Change Detection-konceptet vil Confusion Matrix i nogle tilfælde være nødvendig at anvende for at være sikker på resultatet, da et udsving på 10,7% user accuracy og 5,5% producer accuracy kan være problematisk når der er tale om en kortlægning af oversvømmelser i stor skala.

Change Detection - Orbit 44				
	Overlapanalyse		Confusion matrix	
Klasse	User [%]	Producer [%]	User [%]	Producer [%]
60-100%	94,0	45,7	85,3	42,4
70-100%	93,9	45,7	85,2	42,4
80-100%	93,7	45,7	85,1	42,4

Tabel 8.10. Resultat fra Overlapanalyse og Confusion Matrix for orbit 44 for Change Detection-konceptet. Betydelig ændring i både user- og producer accuracy på henholdsvis 8,6-8,7% og 3,3% mellem de to valideringsmetoder.

Change Detection - Orbit 66				
Klasse	Overlapanalyse		Confusion matrix	
	User [%]	Producer [%]	User [%]	Producer [%]
60-100%	74,0	39,2	65,3	35,5
70-100%	71,7	39,9	62,3	35,7
80-100%	71,1	41,1	60,4	35,8

Tabel 8.11. Resultat fra Overlapanalyse og Confusion Matrix for orbit 66 for Change Detection-konceptet. Igen en betydelig ændring i både user- og producer accuracy på henholdsvis 8,7-10,7% og 3,7-5,3% mellem valideringsmetoderne.

Change Detection - Orbit 139				
Klasse	Overlapanalyse		Confusion matrix	
	User [%]	Producer [%]	User [%]	Producer [%]
60-100%	77,7	46,3	67,3	41,1
70-100%	77,5	46,4	67,1	41,1
80-100%	77,6	46,6	67,1	41,1

Tabel 8.12. Resultat fra Overlapanalyse og Confusion Matrix for orbit 139 for Change Detection-konceptet. Der ses en betydelig ændring på 10,4-10,5% og 5,2-5,5% for henholdsvis user- og producer accuracy mellem de to valideringsmetoder.

Det ses altså, at det vil være nødvendigt at anvende Confusion Matrix til at validere resultaterne fra Change Detection-konceptet, da der ellers ville være en betydelig usikkerhed i user- og producer accuracy, hvis Overlapanalysen anvendes. For Threshold-konceptet er Overlapanalysen tilstrækkelig for at finde user accuracy, og i lidt mindre grad tilstrækkelig for at finde producer accuracy.

Ligesom for monitoreringskoncepterne afhænger valideringsmetodernes tidsforbrug af hvilken computer der anvendes. For samme processor og grafikkort som tidligere kan Overlapanalysen give resultater på omkring 5-10 min for *alle* oversvømmelseskort fra begge koncepter, mens resultater fra Confusion Matrix gives efter 80-90 min.

Hvordan kan en bruger anvende koncepterne? 9

Igennem projektet er det blevet fremlagt, at radarsatellitter kan være et redskab til at kortlægge oversvømmelser på oplandsskala. Hertil er to monitoreringskoncepter, der hver især bruger radarsatellitbilleder og en grænseværdi til at skille vand og land fra hinanden, blevet udfoldet i del 2. Disse to monitoreringskoncepter resulterede i tre forskellige resultater, som gennem del 3 er blevet analyseret på og koncepterne er blevet holdt op mod hinanden og valideret med en Confusion Matrix. Derefter blev koncepterne valideret med en anden hurtigere valideringsmetode, Overlapanalyse, for at undersøge om hvorvidt de samme nøjagtigheder kan findes, som Confusion Matrix-metoden fandt. I dette kapitel vil resultatet af analysen diskuteres sammen med en diskussion af hvorledes de udviklede monitoreringskoncepter kan anvendes med fordel af eventuelle brugere i en kommune. Hertil vil en anden version af konceptdiagrammerne vises, der har en anden opdeling af ekspert og bruger, som vurderes at være opdelingen der vil blive anvendt i en kommune. Derudover vil der være en diskussion af hvorfor Change Detection-konceptet *ikke* viser bedre resultater for alle orbit, som det var forventet. Her vil det diskuteres hvordan dette ville kunne opnås med yderligere undersøgelser, hvilket afsluttes af et perspektiveringsafsnit efter konklusionen i kapitel 10.

9.1 Monitoreringskoncepterne som redskab til kortlægning af oversvømmelser

I anvendelsen af de to koncepter kom det frem, at der ikke var én klar vinder, som kan kortlægge oversvømmelser med høj præcision. Thresholding-konceptet var bedst ved orbit 44 og 139, mens Change Detection-konceptet var bedst ved orbit 66. Med den nøjagtighed de to koncepter kan kortlægge med, kan det ikke give en kortlægning af alt vand med en høj præcision. Orbit 44 i Thresholding-konceptet kan dog give et oversvømmelseskort med en nøjagtighed på $\approx 80\%$, der finder $\approx 50\%$ af alt vand, samt bedre og dårlige nøjagtigheder og henholdsvis mindre og mere af alt vand. De to andre orbit har samme tendens, dog med en mindre start-nøjagtighed. Koncepterne kan stadig give en klar fordel for kommuner, da de gratis og kontinuerligt kan give oversvømmelseskort med de nævnte nøjagtigheder. Fremfor at en kommune skal betale sig til oversvømmelseskort fra en overflyvning, som i mange tilfælde afhænger af vejret og desuden er dyrt på stor skala og for gentagende oversvømmelser over året. Samtidig kan hele processen automatiseres (med opsyn af en ekspert) således, at en bruger kun skal hente data fra ESA og putte det ind i en model. Automatiseringen kan også give mulighed for, at resultaterne automatisk kommer ind i databaser, hvor de kan hentes fra til diverse sagsbehandlinger. Det kan dog ikke siges med sikkerhed, at Change Detection-konceptet for orbit 44 og 139 er dårligt, da Thresholding-

konceptet viste, at hver orbit har én bestemt grænseværdi, der bedst finder vand. De bedste grænseværdier var -13,28, -14,25 og -14,19 dB for henholdsvis orbit 44, 66 og 139. Det kan altså være derfor, at Change Detection-konceptet kun viser et bedre resultat for orbit 66, da dens mest optimale grænseværdi er tættest på -15 dB, som blev anvendt for alle oversvømmelseskort deri. Hvilket betyder, at hvis de bedste grænseværdier for hver orbit anvendes til Change Detection-konceptet, så er der en mulighed for, at den også vil vise de bedste resultater for orbit 44 og 139. Både dette og en test med flere af procent-klasserne vil være en oplagt mulighed for videreudvikling af konceptet. Sidstnævnte vurderes også som en oplagt mulighed, da det i resultatet for orbit 66 blev fundet, at nøjagtigheden *ikke* var størst i klassen 70-100%, som det var forventet ud fra metodeinspirationskilden; Martinis, 2017. Derimod var den størst i klassen 60-100%, hvor stigningen i nøjagtigheden steg med over det dobbelte af klassen 70-100%, hvilket kan tyde på, at den muligvis vil stige endnu mere med klassen 50-100% eller en endnu lavere klasse.

Det blev introduceret i kapitel 5, at der ses en sæsonvariation i mængden af backscatter i et område. Derfor kan en opdeling af tidsserien for sæsoner muligvis give bedre resultater, især da nedbørmængden over året ofte er højst i efterårs- og vintermånederne, og deraf er den dielektriske konstant generelt højere [DMI's Vejrkort, u.d.]. Sæsonvariationen kan også være som resultat af beplantning af afgrøder og høst af dem. Eftersom oversvømmelserne i projektområdet sker som resultat af nedbør, og oftest i efterårs- og vintermånederne, vil en tidsserie over samme periode forventes at give flere områder til fejlområde-kortlagene, da jorden er mindre fugtig i de andre måneder og deraf har en lavere værdi for den dielektriske konstant. Resultatet forventes så at være, at der fjernes flere fejlområder i Change Detection-konceptet, og deraf opnås et bedre resultat for alle orbit.

En videreudvikling af Change Detection-konceptet, med de nævnte punkter ovenover, kan altså betyde, at der vil kunne gives præcise oversvømmelseskort med en højere nøjagtighed for både user- og producer accuracy. Derved ville oversvømmelseskort udarbejdet ved hjælp af radarsatellitter kunne give endnu flere fordele for kommunerne, da kortlægningerne så vil være gratis, kontinuerlig og forholdsvist præcise. Ved en højere præcision ville kortlægningerne derved også kunne anvendes mere sikkert i data- og skadebehandlinger i kommunerne.

Af de to valideringsmetoder er Confusion Matrix den mest præcise, og anvendelsen af den hurtigere Overlapanalyse viste, at den kunne give de samme user accuracy-værdier for Thresholding-konceptet med en fejl på maksimalt 0,1%, mens producer accuracy blev estimeret mindre præcist med en fejl på maksimalt 3,0%. Der kan altså med fordel anvendes Overlapanalyse til at finde user accuracy for Thresholding-konceptet, og derved gøres valideringsprocessen kortere. Det samme kan gøre sig gældende for producer accuracy, hvis en fejl på 3% ikke vurderes som en betydelig fejl af brugeren. For Change Detection giver Overlapanalysen større fejl for både user- og producer accuracy på henholdsvis op til 10,7% og op til 5,5%, og den vil derfor ikke være tilstrækkelig til at validere oversvømmelseskortene fra dette koncept. Det er altså op til brugeren at bestemme med hvilken nøjagtighed oversvømmelserne skal kortlægges i forhold til hvor høj en user- og producer accuracy, der ønskes.

9.2 Hvordan skal en bruger i en kommune anvende koncepterne?

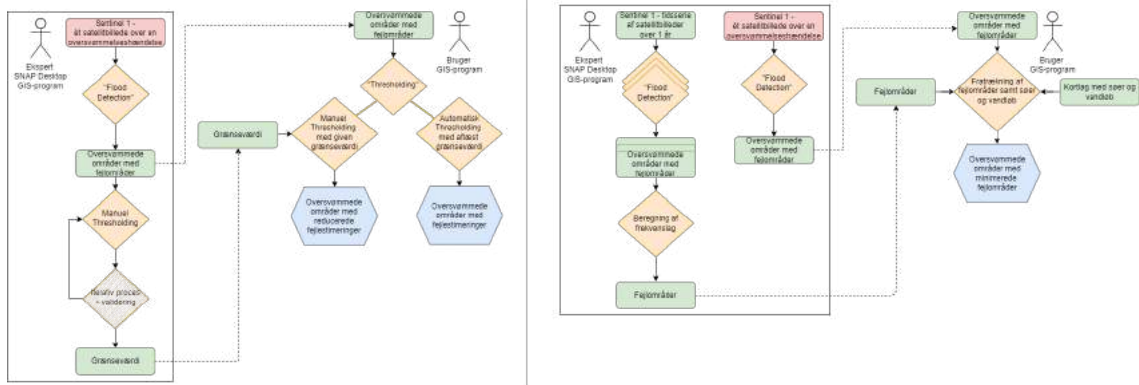
Igennem projektet er det blevet belyst, at det kræver en vis erfaring og forståelse for radarsatellitter og SNAP Desktop for at udarbejde oversvømmelseskortlægningen med de monitoreringskoncepter der er givet i projektet. Hvis en kommune skal kunne bruge disse koncepter, vil det kræve, at en eller flere kommunemedarbejdere har tilegnet sig viden omkring emnet, enten under uddannelse eller et kursus, som eksempelvis det gratis kursus Echoes in Space, som projektgruppen har fuldført. Det er erfaret af projektgruppen, at dette kursus fra ESA er et godt redskab at have, hvis det ønskes at arbejde med data fra satellitter. Desuden kan kurset gennemføres på relativt kort tid, som derfor med fordel kan gennemføres af en interesseret bruger i en kommune. Efter denne bruger har gennemført kurset, vil brugeren have bedre muligheder for at forstå tankegangen bag de valg, der er foretaget igennem bearbejdningen af satellitbillederne. Samtidig vil denne bruger have en god mulighed for selv at udarbejde automatiseringsmodeller i SNAP Desktop, da der vises videoguides i kurset til modelværktøjet *GraphBuilder*, som er anvendt i projektet.

Ud fra den lille viden projektgruppen har tilegnet sig omkring kommuner, så er den erfaring kommunemedarbejdere har med GIS begrænset [Søe, 2022]. Dette vil betyde, at det vil kræve en specialist inden for området, og dette medfører, at der skal afsættes ressourcer til enten at hyre en specialist eller uddanne en specialist (hvis Echoes in Space-kurset ikke er tilstrækkeligt).

Den arbejdsproces-opdeling med en bruger- og ekspertdel der var tilbage i strukturdiagrammerne for monitoreringskoncepterne, vil muligvis ikke være den samme, som en arbejdsproces i en kommune ville have. Hvis en kommune valgte at arbejde med koncepterne, ville en opdeling muligvis være mere lig det strukturdiagram, der ses på figur 9.1, som findes opdelt i en større udgave i appendiks E2. Dette strukturdiagram er opdelt i en ekspertdel, som er specialist inden for både GIS og SNAP Desktop, og en brugerdel, som kun har en anelse erfaring med GIS. I denne version af konceptdiagrammerne udarbejdes størstedelen altså af eksperten, og kun en lille del af brugeren. Denne fordeling vurderes at være den mest typiske i kommuner, da erfaringen med GIS er begrænset, og det hovedsageligt kun er nyuddannede i kommunen, der har haft fokus på GIS under deres uddannelse samt de medarbejdere der ønsker mere erfaring og viden på GIS-området, der kan/vil tilegne sig en viden omkring brugen af SNAP Desktop og de anvendte værktøjer i GIS.

De givne luftfotos der er anvendt til at udarbejde referencekortet til validering af koncepterne, er muligvis ikke en mulighed for en given kommune at købe sig til. Det kan derfor også diskuteres om en validering af koncepterne kan fuldføres på en anden måde for disse kommuner end med et referencekort. Prisen for en overflyvning er ikke *meget* høj (antagelse, da det er forskelligt fra kommune til kommune) på omkring 14.423,59 kr. (prisen for ortofoto givet af Nielsen og SDFI, 2022 nedskaleret til projektområdet), og valideringen ikke skal laves for hver oversvømmelse, vurderes det ikke at være umuligt for selv små kommuner, at købe en enkelt overflyvning til at validere koncepterne i kommunens område.

Thresholding og Change Detection med en anden opdeling



Figur 9.1. Anden version af konceptdiagrammerne. Til venstre ses Thresholding og til højre ses Change Detection. Heri er fordelingen, at eksperten både arbejder med SNAP Desktop og et GIS-program og brugeren arbejder med et GIS-program.

Det vurderes på baggrund af de diskuterede emner ovenover, at en anvendelse af de udviklede monitoreringskoncepter er en god mulighed for kommunerne. Ikke nødvendigvis som en 100% erstatning for andre typer overvågning af oversvømmelser, men som en erstatning under forhold, hvor de andre overvågninger ikke kan bruges. En videreudvikling af Change Detection kan dog muligvis kunne få konceptet tættere på at kunne erstatte andre typer overvågninger i alle tilfælde, eller i hvert fald give en større nøjagtighed. Derved kan beslutninger taget i sagsbehandlinger på baggrund af oversvømmelseskortene foretages med en større sikkerhed.

I hvor høj grad kan radarsatellitbilleder anvendes til kortlægning af oversvømmelseshændelser på oplandsskala?

Ovenover ses problemformuleringen der dannede grundlag for projektet. Der er igennem de tre dele af rapporten blevet besvaret på spørgsmålet, og der vil her være en kort delkonklusion for hver del, hvor delkonklusionen for del 3, fungerer som konklusion på hele projektet.

Del 1 gav en introduktion til hvordan radarsatellitter fungerer, samt hvordan rådata derfra bliver til satellitbilleder, der kan anvendes til analyser. Desuden blev det beskrevet, at radarsatellitter kan producere data i alt slags vejr, dag og nat samt hver 6. dag. Dette giver altså radarsatellitter en helt klar fordel, frem for de andre overvågningstyper. Derfor kan det konkluderes, at radarsatellitterne er en rigtig god mulighed for kommuner, der ønsker overvågningsmetoder til oversvømmelser på oplandsskala uden omkostninger.

Del 2 introducerede de to monitoreringskoncepter, Thresholding og Change Detection, der hver især gav muligheden for at monitorere en oversvømmelseshændelse. Change Detection er den mest tidskrævende af de to, og forventedes at være den mest præcise. Confusion Matrix er den mest præcise valideringsmetode, og den blev derfor brugt til at sammenligne koncepterne. Overlapanalysen blev anvendt for at undersøge om en hurtigere valideringsmetode kunne ende med den samme konklusion af hvilket koncept, der er bedst.

Del 3 viste, at orbit 44 gav den bedste samlede nøjagtighed for user- og producer accuracy for alle grænseværdier for begge koncepter, og kan præstere en user accuracy på $\approx 80\%$ og samtidig kortlægge $\approx 47\%$ af alt vand. Automatisk Threshold gav en user accuracy på mindst 94,8%, men en lav producer accuracy på 27,2%, 19,0% og 22,7%, og vurderes derfor til ikke at kunne anvendes. Herudover viste analysen, at Thresholding-konceptet gav de bedste resultater for orbit 44 og 139, mens Change Detection gjorde for orbit 66, hvor nøjagtigheden blev 5,9% bedre for klassen 60-100%. Det blev også fundet, at orbit 66's optimale grænseværdi på -14,25 dB er tættest på den anvendte grænseværdi for Change Detection på -15 dB. Dette kan derfor være grunden til, at der kun var en stigning i nøjagtighed for denne orbit i Change Detection-konceptet. Af valideringsmetoderne blev det fundet, at den hurtige Overlapanalyse kan finde user- og producer accuracy med en maksimum-fejl på 3,0% for Threshold-konceptet, mens maksimum-fejlen var 10,7% for Change Detection-konceptet. Derfor vurderes den til at være en mulighed for Threshold, men ikke for Change Detection. Det konkluderes at begge koncepter med fordel kan anvendes af kommuner til kortlægning af oversvømmelser på oplandsskala, da resultaterne er forholdsvis gode, og der intet alternativ er med samme fordele som radarsatellitter.

Det kan dog ikke erstatte andre overvågningstyper, da ingen af koncepterne formår, at kortlægge mere end 47% total vand med en user accuracy på mindst 80% (hvis 80% antages som værende en minimums nøjagtighed). Det vurderes også, at Change Detection-konceptet har et stort potentiale for videreudvikling, da anvendelsen af konceptet i projektet ikke har testet alle parametre, hvor især sæsonopdeling af tidsserien og anvendelse af flere klasser muligvis kan øge nøjagtigheden.

10.1 Perspektivering og videre studier

I afsnit 4.2 blev det nævnt, at der anvendes terrænmodellen SRTM (1 arcsec) til Terrain-Correction-værktøjet. Her kan der undersøges om en terrænmodel med en højere opløsning, eksempelvis en terrænmodel fra SDFI med en opløsning på 0,4 m, kan få monitoreringskoncepterne til at kortlægge mere oversvømmelse og give højere nøjagtigheder. Herudover kan det undersøges om de valgte parametre for de andre værktøjer i SNAP Desktop kan ændres, og derved få et bedre resultat. Dette kan eksempelvis være hvilket filter i Speckle-Filter-værktøjet der anvendes, samt hvilket antal af celler der interpoleres på.

En anden fremtidig undersøgelse kan være at undersøge hvordan en eventuel bruger i en kommune ville implementere ét eller begge monitoreringskoncepter. Hertil vil en interview-analyse af forskellige brugere fra kommuner være en del af undersøgelsen, hvilket kan give værdifulde informationer, der gør det muligt at tilrettelægge konceptdiagrammerne til netop brugerens behov. Herudover kan det give viden om hvordan koncepterne kan bruges på tværs af afdelinger i kommunen, og deraf fås en tydeligere opdeling af bruger og ekspert.

Det blev nævnt kort i afsnittet der gav eksempler på fejlområder i felten, at en undersøgelse på jordforhold på græsmarker vil kunne gøre gavn, da græsmarker, og generelt marker, ofte ses som fejlområder. Hvis årsagen til dette kan findes, og hvis synderen til det, er en parameter der allerede er kortlagt, eksempelvis jordbundstypen eller lignende, ville sådan et kortlag kunne anvendes til at ekskludere områder fra oversvømmelseskortene på samme måde som fejlområde-kortlagene.

En videreudvikling af Change Detection-konceptet er mulig, da det vurderes, at der er gode muligheder for en forbedring i nøjagtighed, på baggrund af de nævnte manglende tests af parametre. Her kan det undersøges om en anvendelse af den optimale grænseværdi gør, at Change Detection forbedrer nøjagtigheden for alle orbit. Sæsonvariation blev også nævnt som en mulig videreudvikling, da det er tydeligt at se en sæsonvariation imellem satellitbillederne i tidsserien, og eftersom oversvømmelser oftest forekommer i bestemte sæsoner, kan et fejlområde-kortlag udarbejdet specielt til det formål, give gode forbedringer. Yderligere kan en undersøgelse af de resterende klasser også give en højere nøjagtighed, da det blev fundet, at nøjagtigheden steg fra 70-100% til 60-100%, og vil muligvis stige endnu mere ved 50-100% og lavere klasser. Det er altså tre forskellige parametre der vurderes at kunne give en forbedring af nøjagtigheden, og tilsammen muligvis gøre Change Detection-konceptet attraktivt for alle orbit samt i en højere grad. På baggrund af dette vurderes det, at potentialet for anvendelsen af radarsatellitter til oversvømmelseskortlægning på oplandsskala er højt.

Litteraturliste

Primær litteratur

- Abueladas, Abdel-Rahman og Akawwi, Emad (2020). "Remote Sensing of Floods and Flood-Prone Areas: An Overview". I: *Geosci. Instrum. Method. Data Syst.* vol. 9, s. 491–497. DOI: <https://doi.org/10.5194/gi-9-491-2020>.
- Addo, Kwasi Appeaning, Jayson-Quashigah, Philip-Neri, Codjoe, Samuel Nii Ardey og Martey, Francisca (2018). "Drone as a tool for coastal flood monitoring in the Volta Delta, Ghana". I: *Geoenvironmental Disasters* vol. 5. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40677-018-0108-2>.
- Andersen, Kaija Jumppanen, Azan, Mie Dall, Ciocan, Ulf Radu, Ditlevsen, Charlotte, Jacobsen, Thomas og Merino, Marta (2020). *Metode til kortlægning af fare og risiko for oversvømmelse. Oversvømmelsesdirektivet, Anden planperiode*. ISBN: 978-87-7120-196-3. Kystdirektoratet.
- Brown, Louis og March, Robert H. (2000). "A Radar History of World War II: Technical and Military Imperatives". I: *Physics Today* vol. 53. DOI: <https://doi.org/10.1063/1.1325205>.
- Filipponi, Federico (2019). "Sentinel-1 GRD Preprocessing Workflow. 3rd International Electronic Conference on Remote Sensing". I: *Proceedings: Sciforum Electronic Conference Series* vol. 3.
- Jensen, John R. (2014). *Remote Sensing of the Environment*. 2nd edition ISBN: 978-93-325-1894-0. Pearson.
- Jones, Hamlyn G. og Vaughan, Robin A. (2010). *Remote Sensing of vegetation: Principles, techniques and applications*. 1st edition ISBN: 978-0-19-920779-4. Oxford University Press.
- Lillesand, Thomas M., Kiefer, Ralph W. og Chipman, Jonathan W. (2015). *Remote Sensing and Image Interpretation, 7th edition*. ISBN: 978-1-118-34328-9. Wiley.
- Mansourpour, M., Rajabi, M.A. og Blais, J.A.R. (2006). "Effects and performance of speckle noise reduction filters on active radar and SAR images". I: *Proceedings: Int-ArchPhRS* vol. XXXVI-1/W41.
- Martinis, Sandro (2017). "Improving flood mapping in arid areas using SENTINEL-1 time series data". I: *IEEE. International Symposium on Geoscience and Remote Sensing (IGARSS)*, s. 193–196. DOI: <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2017.8126927>.

Martinis, Sandro, Plank, Simon og Ćwik, Kamila (2018). "The Use of Sentinel-1 Time-Series Data to Improve Flood Monitoring in Arid Areas". I: *Remote Sensing* vol. 10.nr. 4. ISSN: 2072-4292. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs10040583>.

Rees, W. G. (2014). *Physical Principles of Remote Sensing*. 3rd edition ISBN: 978-0-521-18116-7. Cambridge University Press.

Restas, Agoston (2018). "Water Related Disaster Management Supported by Drone Applications". I: *World Journal of Engineering and Technology* vol. 6, s. 116–126. DOI: <https://doi.org/10.4236/wjet.2018.62B010>.

Richards, John R. (2013). *Remote Sensing Digital Image Analysis: An Introduction*. 5th edition ISBN: 978-3-642-30061-5. Springer.

Suroso, I. (2019). "Analysis of Mapping Area of Flood With Drone Type Multicopter in Girimulyo, Kulonprogo". I: *Earth and Environmental Science* vol. 271, s. 12–13. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/271/1/012013>.

Verbesselt, Jan, Hyndman, Rob, Newnham, Glenn og Culvenor, Darius (2010). "Detecting trend and seasonal changes in satellite image time series". I: *Remote Sensing of Environment* vol. 114 (1), s. 106–115. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2009.08.014>.

Sekundær litteratur

- Andersen, Jakob Ebbekær (2020). *Rekordvåd februar har sat sine spor: Massive oversvømmelser i og omkring Odense - Fyens Stiftstidende*. Tilgået: 04-05-2022. <https://fyens.dk/artikel/rekordv%C3%A5d-februar-har-sat-sine-spor-massive-oversv%C3%B8mmelser-i-og-omkring-odense#slide0>.
- DMI (u.d.[a]). *Radar. Danmarks Meteorologiske Institut*. Tilgået: 13-05-2022. <https://www.dmi.dk/dmis-vejrprodukter/radar/>.
- (u.d.[b]). *Radar. Danmarks Meteorologiske Institut*. Tilgået: 13-05-2022. <https://www.dmi.dk/radar/>.
- DMI's Vejrarkiv (u.d.). *Vejrarkiv*. Tilgået: 04-05-2022. <https://www.dmi.dk/vejrarkiv/>.
- ESA (u.d.[a]). *Acquisition Modes*. Tilgået: 18-04-2022. <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-1-sar/acquisition-modes>.
- (u.d.[b]). *Copernicus Open Access Hub*. Tilgået: 02-03-2022. <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>.
- (u.d.[c]). *Data Products*. Tilgået: 28-04-2022. <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-1/data-products>.
- (u.d.[d]). *ESA's SNAP Desktop program - Hjælp side*. Tilgået: 02-03-2022. <https://step.esa.int/main/download/snap-download/>.
- (u.d.[e]). *Interferometric Wide Swath*. Tilgået: 19-04-2022. <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/user-guides/sentinel-1-sar/acquisition-modes/interferometric-wide-swath>.
- (u.d.[f]). *Introduction - Welcome to Echoes In Space!* Tilgået: 16-12-2021. <https://eo-college.org/courses/echoes-in-space/lessons/history/topic/what-is-radar/>.
- (u.d.[g]). *Oil Spill Mapping*. Tilgået: 30-03-2022. <https://eo-college.org/courses/echoes-in-space/lessons/water/topic/oil-spill-tutorial/>.
- (u.d.[h]). *Product Types and Processing Levels*. Tilgået: 04-04-2022. <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-1-sar/product-types-processing-levels>.
- (u.d.[i]). *SAR Instrument*. Tilgået: 05-05-2022. <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/technical-guides/sentinel-1-sar/sar-instrument>.
- (u.d.[j]). *Sentinel-1*. Tilgået: 16-12-2021. <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-1>.

- ESA (u.d.[k]). *The EM spectrum*. Tilgået: 30-03-2022. <https://eo-college.org/courses/echoes-in-space/lessons/history/topic/the-em-spectrum/>.
- (u.d.[l]). *The scattering mechanisms*. Tilgået: 22-03-2022. <https://eo-college.org/courses/echoes-in-space/lessons/geometry/topic/the-scattering-mechanisms/>.
- (u.d.[m]). *Wavelength & Frequency*. Tilgået: 13-05-2022. <https://eo-college.org/courses/basic-principles-of-radar-backscatter/lessons/system-parameters/topic/wavelength-frequency/#elementor-action%3Aaction%3Dpopup%3Aopen%26settings%3DeyJpZCI6IjIxNTE5MyIsInRvZ2dsZSI6ZmFsc2V9>.
- Geopartner Inspections (2020). *Geopartner Inspections hjælper Aalborg Forsyning med at finde skjulte ledninger i jorden*. Tilgået: 13-05-2022. <https://www.teknologisk.dk/undersoegelsesmetoder/11-georadar/20887,12>.
- Hansen, Kåre Rolf (2020). *Oversvømmet og nedlukket kroejler: - 2020 har været en rutsjebanetur - TV2 Østjylland*. Tilgået: 04-05-2022. <https://www.tv2ostjylland.dk/tv-midtvest/oversvoemmet-og-nedlukket-kroejer-2020-har-vaeret-en-rutsjebanetur>.
- IBM (2020). *What is weather radar? The ultimate guide. The Weather Company*. Tilgået: 13-05-2022. <https://www.ibm.com/weather/industries/broadcast-media/what-is-weather-radar>.
- Kystdirektoratet (2016). *Bekendtgørelse om vurdering og risikostyring for oversvømmelser fra havet, fjorde eller andre dele af søterritoriet*. Tilgået: 11-05-2022. <https://www.retsinformation.dk/eli/lta/2016/894>.
- Midtjyllandsavis (2022). *Afgørende nyt for fremtiden: Svostrup Kro kan få dige og dræn i år*. Tilgået: 04-05-2022. <https://www.midtjyllandsavis.dk/artikel/1de12ed6-fa61-491f-8c7a-64fee72ec2fc/>.
- Miljø- og Fødevareministeriet (2016). *Overvågning skal sikre mod oversvømmelser. Klimatilpasning*. Tilgået: 25-04-2022. <https://www.klimatilpasning.dk/aktuelt/nyheder/2016/april/overvaagning-skal-sikre-mod-oversvoemmelser/>.
- Miljøstyrelsen (u.d.[a]). *MiljøGIS for høring af vandområdeplaner 2021-2027*. Tilgået: 11-05-2022. <https://miljoegis.mim.dk/spatialmap?&profile=vandrammedirektiv3hoering2021>.
- (u.d.[b]). *Skybrud - hvordan ruster vi os til ekstremregn*. Tilgået: 28-04-2022. <https://mst.dk/natur-vand/klimatilpasning/skybrud/>.
- Nielsen, Emma Bjerg (2020). *Pludselig sank jorden: Vandpumper kunne ikke følge med - TV Midtvest & TV2 Østjylland*. Tilgået: 04-05-2022. <https://www.tvmidtvest.dk/tv2-oestjylland/pludselig-sank-jorden-vandpumper-kunne-ikke-foelge-med>.

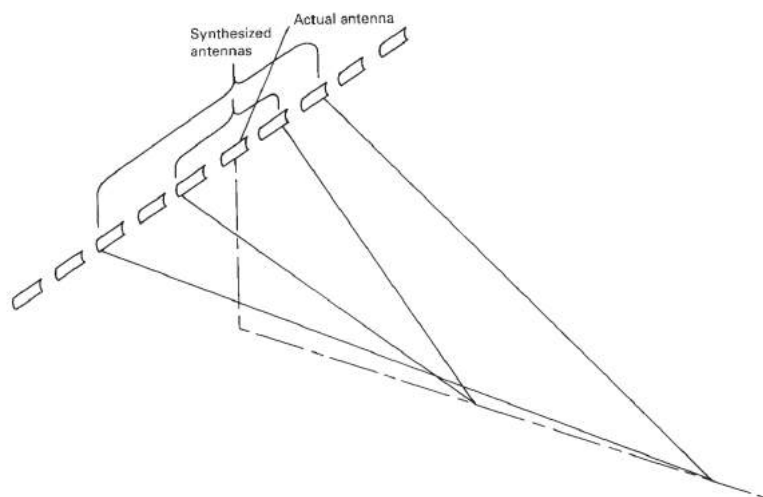
- Nielsen, Eskil Kjærshøj og SDFI (2022). *E-mail korrespondance med Styrelsen for Dataforsyning og Infrastruktur*.
- Pedersen, Rasmus A., Payne, Mark R., Langen, Peter L., Boberg, Fredrik, Christensen, Ole B., Sørensen, Alan, Madsen, Marianne S., Olesen, Martin, Su, Jian og Darholt, Max (2021). *Klimaatlas-rapport Danmark*. Tilgået: 28-04-2022. https://www.dmi.dk/fileadmin/klimaatlas/rapporter/Rapporter_v2021a/DMI_Klimaatlas_Danmark_rapport_v2021a.pdf.
- Poulsen, Ditte Georg (2020). *Vandet volder fortsat problemer i Silkeborg - TV Midtvest*. Tilgået: 04-05-2022. <https://www.tvmidtvest.dk/silkeborg/vandet-volder-fortsat-problemer-i-silkeborg>.
- Retsinformation (2017). *Bekendtgørelse af lov om vurdering og styring af oversvømmelsesrisikoen fra vandløb og søer*. Tilgået: 28-04-2022. <https://www.retsinformation.dk/eli/lta/2017/108>.
- SDFI (u.d.[a]). *Danmarks Administrative Geografiske Inddeling, Styrelsen for Dataforsyning og Infrastruktur*. Tilgået: 11-05-2022. <https://dataforsyningen.dk/data/3559#description>.
- (u.d.[b]). *Flyfotos og laserscanning. Styrelsen for Dataforsyning og Infrastruktur*. Tilgået: 09-06-2022. <https://sdfi.dk/vores-opgaver/dataindsamling/flyfotos-og-laserscanning>.
- (u.d.[c]). *GeoDanmark Vektor Prædefineret SHAPE. Styrelsen for Dataforsyning og Infrastruktur*. Tilgået: 09-06-2022. <https://datafordeler.dk/dataoversigt/geodanmark-vektor/geodanmark-vektor-praedefineret-shape/>.
- Silkeborg Kommune (2021). *Indsatsplan for ekstrem høj vandstand i Gudenåen*. Tilgået: 11-05-2022. <https://beredskabsplan.silkeborg.dk/Afdelingens-delplaner/Teknik-og-Miljoe/Oversvoemmelse>.
- Søe, Ronni Fjordvald (2022). *E-mail korrespondance med Ronni Fjordvald Søe*.
- Teknologisk Institut (u.d.). *Undersøgelsesmetoder - 11 Georadar. Betoncentret ved Teknologisk Institut*. Tilgået: 13-05-2022. <https://www.teknologisk.dk/undersogelsesmetoder/11-georadar/20887,12>.
- Wingtra (u.d.). *Fixed-wing drones: the evolution of the technology*. Tilgået: 26-04-2022. <https://wingtra.com/fixed-wing-drones-the-evolution/>.

Appendiks A - Supplerende teoretisk viden

I dette appendiks bliver supplerende teoretisk viden angående Synthetic Aperture Radar, atmosfæriske forstyrrelser og topografisk forvrængning gennemgået. Herudover vises ESA's egne beskrivelser af de anvendte værktøjer fra SNAP Desktop.

A1 Synthetic Aperture Radar

Synthetic Aperture Radar, herefter refereret til som SAR, er en løsning på en problematik, der opstår når radar anvendes på lang afstand, hvor der ikke kan ses forskel på objekter tæt på hinanden. Denne problematik kan løses ved at anvende en større fysisk antenne, hvilket dog er upraktisk i rummet. Grundprincippet for SAR er at få en større antenne ved at *simulere* en større fysisk antenne. SAR princippet er illustreret på figur A1.

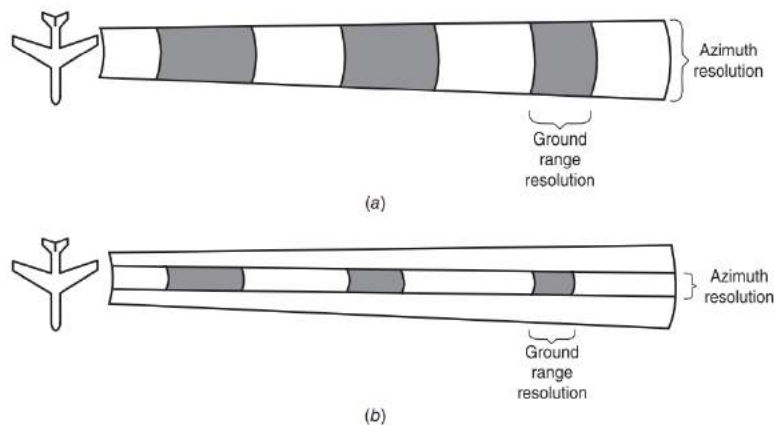


Figur A1. Illustration af grundprincippet i SAR [Lillesand et al., 2015, s. 399].

Den samme fysiske antenne på en radarsatellit anvendes over flere omgange i det samme scannede område. Dette betyder, at en 1 m fysisk antenne ville kunne fungere, som en 100 m lang *syntetisk* antenne, hvis SAR anvendes 100 gange. Derved kan radaren se forskel på objekter tæt på hinanden. Hvor stor en antenne der skal simuleres, afhænger af hvilken azimuth opløsning der ønskes (ground opløsning afhænger derimod af hvilken periode mikrobølgerne sendes med). Azimuth opløsningens afhængighed af dette ses i følgende ligning fra Lillesand et al., 2015, s. 637:

$$R_a = \overline{SR} * \beta \tag{10.1}$$

Hvor R_a er azimuth opløsningen i m, \overline{SR} er slant afstanden i m og β er strålebredden for de udsendte mikrobølger i mrad (milliradian). Hvis R_a resulterer i en værdi større end afstanden mellem objekterne, vil der ikke kunne ses forskel på objekternes backscatter, da de vil fremstå som værende oven i hinanden. Forskellen for den resulterende azimuth opløsning før og efter SAR er illustreret på figur A2. Herpå ses det, at azimuth opløsningen forbliver den samme med afstanden i (b), hvor SAR er anvendt, hvilket ikke er tilfældet for (a).



Figur A2. Illustration af azimuth opløsningen a) uden SAR-løsningen og b) med SAR-løsningen [Lillesand et al., 2015, s. 401]. Det ses, at azimuth opløsningen ikke forværres med afstanden i b).

SAR er altså en løsning på et problem, der ville have været en betydelig forværring af satellitbillederne fra den store afstand, der er fra satellitten til jorden. Dette er også grunden til, at SAR er en meget udbredt teknik, som anvendes af alle radarsatellitter.

A2 Atmosfæriske forstyrrelser

Når mikrobølgerne skal igennem atmosfæren, kan der opstå problemer. Disse problemer opstår, da atmosfæren er fyldt med gasser, som påvirker mikrobølgerne, og heraf kan der opstå spredning og absorption [Lillesand et al., 2015, kap. 1].

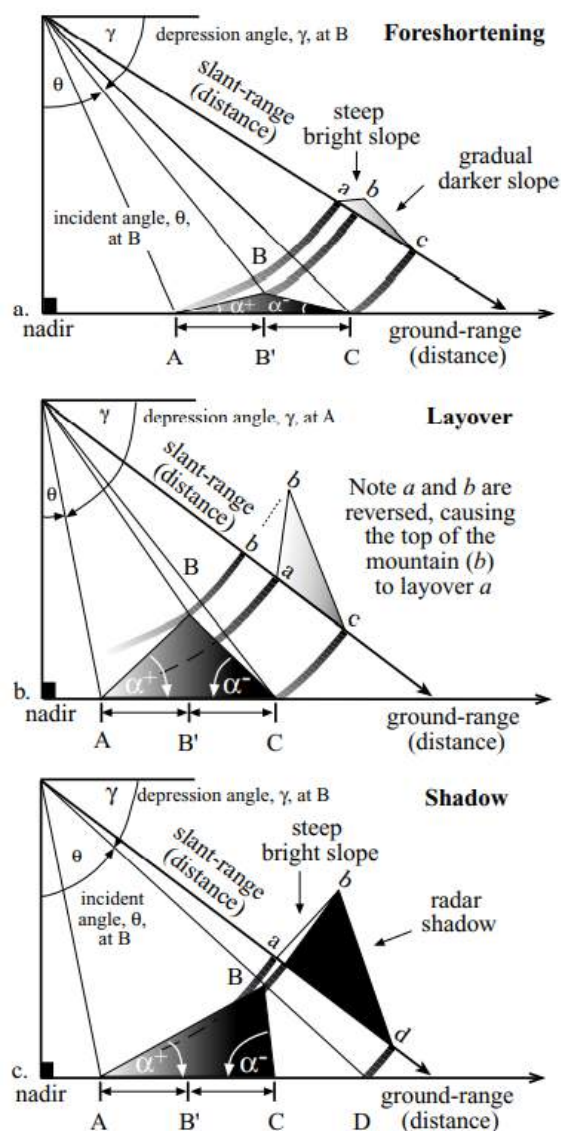
Rayleigh spredning er den mest normale spredning i atmosfæren og den har en tendens til at påvirke de korte bølgelængder mere end de længere. Resultatet af Rayleigh spredning kan være en "diset" effekt på billeder. Rayleigh spredningen er desuden grunden til, at himlen er blå, og uden denne effekt, ville himlen være sort. En anden spredning er *Mie spredning*, der opstår når mikrobølgernes bølgelængde er i samme skala som diameteren af de atmosfæriske partikler, de rammer. Effekten fra denne ses ikke tydeligt på samme måde som Rayleigh gjorde himlen blå. Den sidste spredningseffekt er *nonselective spredning*, og dette sker når de atmosfæriske partikler er større end bølgelængderne og det forekommer hovedsageligt ved vanddråber. Denne spredning er årsag til, at tåge og skyer er hvide, da den får blå, grøn og rødt lys til at sprede lige fordelt. [Lillesand et al., 2015, kap. 1]

Yderligere finder der absorption i atmosfæren, og det dækker over et fænomen, hvor mikrobølgerne, der kommer ind i atmosfæren, mister energi. Grunden til dette er, at gasser

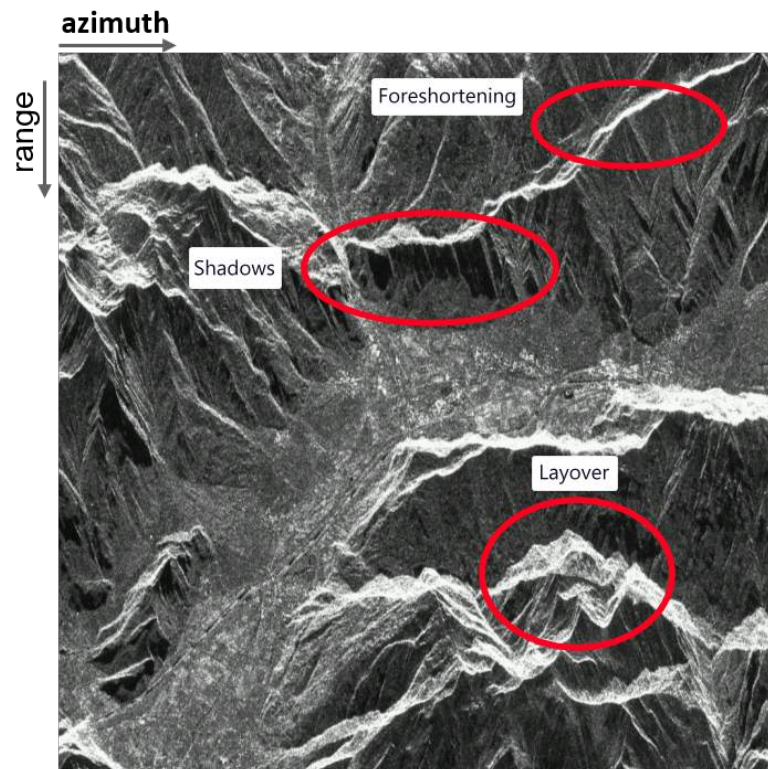
som vanddamp, CO_2 og ozon-laget absorberer energi fra mikrobølgerne ved specifikke bølgelængder. [Lillesand et al., 2015, kap. 1]

A3 Foreshortening, Layover og Shadows

Radarbilleder vises ikke altid som perfekte billeder hvor alle detaljer kan ses, da der kan opstå forstyrrelser på radarbillederne, som resultat af topografiske elementer. Disse forstyrrelser kan være *foreshortening*, *layover*, *shadows* og *speckles*. Foreshortening opstår når toppen af eksempelvis et bjerg bliver registreret af radaren inden bunden af bjerget gør, og afstanden mellem bunden og toppen bliver derved komprimeret. På figur A3a vises dette fænomen. Her kan det ses, at ground- og slant afstanden mellem punkterne a og b ikke er ens, hvor slant afstanden er kortere end ground afstanden og derfor opstår der foreshortening. Layover fungerer indenfor samme præmisser som foreshortening, men er en tydeligere form af det. På figur A3b vises dette fænomen. Layover sker når punkt b kommer før punkt a i slant afstanden og her vil bjergets top vises før bunden på billedet. Endnu et fænomen der sker ved områder med hældning er shadows. På figur A3c vises disse shadows. Dette sker når depression vinklen er mindre end bjergets bagside. Når der opstår shadows vil det ikke være muligt at se bagsiden af bjerget. Figur A4 viser hvordan de førnævnte fænomener ser ud på et satellitbillede. Her er alle tre vist og det er tydeligt at se, at der er problemer i disse områder. Det ses samtidig på billedet, at radarsatellitten har været nordvest for området, da eksempelvis shadows ses på den anden side af bjergene.



Figur A3. Illustration af foreshortening, layover og shadow [Jensen, 2014, s. 302].



Figur A4. Illustration af hvordan foreshortening, layover og shadow optræder på et radarbillede [Jensen, 2014, s. 302].

A4 SNAP Desktop værktøjer

Figurerne i dette appendiks viser ESA's egne beskrivelser af de individuelle værktøjer i SNAP Desktop's SLC to GRD værktøj og er fra ESA, u.d.[d]. Disse beskrivelser fungerer som en ekstra baggrundsviden og teoretisk viden for værktøjerne, der anvendes til at bearbejde satellitbillederne.



Multilook Operator

Generally, a SAR original image appears speckled with inherent speckle noise. To reduce this inherent speckled appearance, several images are incoherently combined as if they corresponded to different looks of the same scene. This processing is generally known as multilook processing. As a result the multilooked image improves the image interpretability. Additionally, multilook processing can be used to produce an application product with nominal image pixel size.



Sentinel-1 TOPSAR Deburst and Merge

For the TOPSAR IW and EW SLC products, each product consists of one image per swath per polarization. IW products have 3 swaths and EW have 5 swaths. Each sub-swath image consists of a series of bursts, where each burst was processed as a separate SLC image. The individually focused complex burst images are included, in azimuth-time order, into a single subswath image, with black-fill demarcation in between, similar to the ENVISAT ASAR Wide ScanSAR SLC products.

For IW, a focused burst has a duration of 2.75 sec and a burst overlap of ~50-100 samples. For EW, a focused burst has a duration of 3.19 sec. Overlap increases in range within a sub-swath.

Images for all bursts in all sub-swaths of an IW SLC product are re-sampled to a common pixel spacing grid in range and azimuth. Burst synchronisation is ensured for both IW and EW products.

Unlike ASAR WSS which contains large overlap between beams, for S-1 TOPSAR, the imaged ground area of adjacent bursts will only marginally overlap in azimuth just enough to provide contiguous coverage of the ground. This is due to the one natural azimuth look inherent in the data.

For GRD products, the bursts are concatenated and sub-swaths are merged to form one image. Bursts overlap minimally in azimuth and sub-swaths overlap minimally in range. Bursts for all beams have been resampled to a common grid during azimuth post-processing.

In the range direction, for each line in all sub-swaths with the same time tag, merge adjacent sub-swaths. For the overlapping region in range, merging is done midway between subswaths.

In the azimuth direction, bursts are merged according to their zero Doppler time. Note that the black-fill demarcation is not distinctly zero at the end or start of the burst. Due to resampling, the data fades into zero and out. The merge time is determined by the average of the last line of the first burst and the first line of the next burst. For each range cell, the merging time is quantised to the nearest output azimuth cell to eliminate any fading to zero data.



Slant Range to Ground Range Operator

The operator re-projects images from slant range (range spacing proportional to echo delay) to ground range (range spacing proportional to distance from nadir along a predetermined ellipsoid). The operator works on complex or real slant range product.

Note: The SRGR operator is not required before terrain correcting since terrain corrected results are always in ground range.

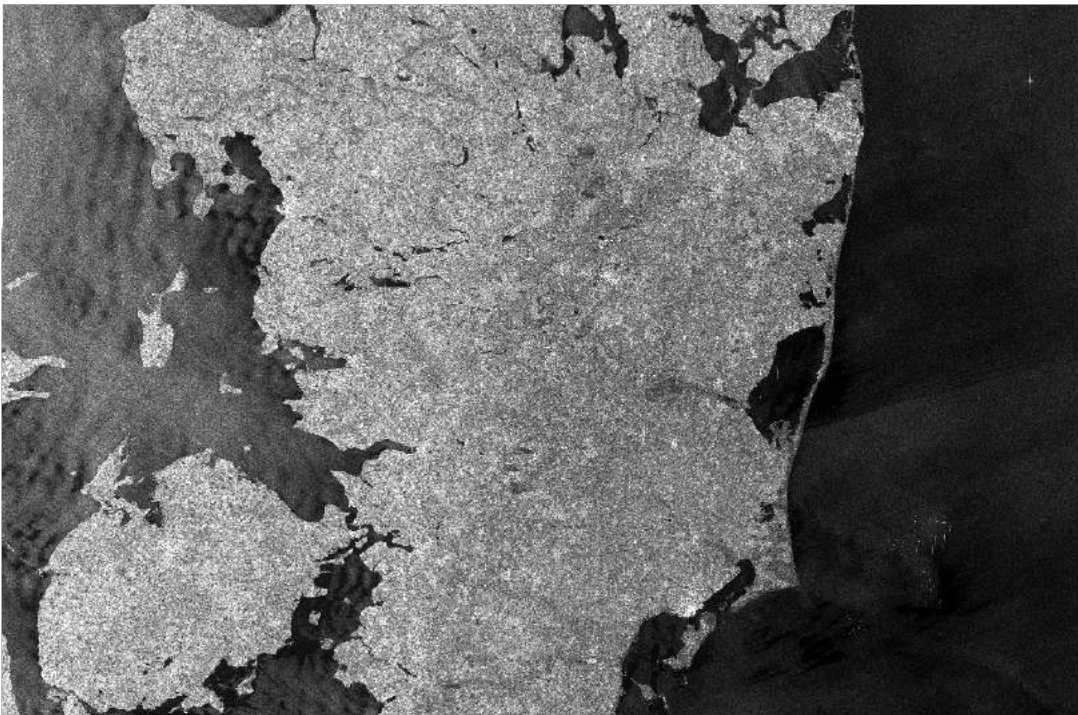
Major Processing Steps

The slant range to ground range conversion consists of the following major steps:

1. Create a warp polynomial of given order that maps ground range pixels to slant range pixels.
2. For each ground range pixel, compute its corresponding pixel position in the slant range image using warp polynomial.
3. Compute pixel value using user selected interpolation method.

Appendiks B - "Flood detection" billedserie

Følgende billedserie er output, i stor størrelse, fra metoden "flood detection", som blev gennemgået i kapitel 4.



Figur B1. Sentinel 1 GRD-billede fra d. 27. februar 2019 fra ESA, u.d.[b].



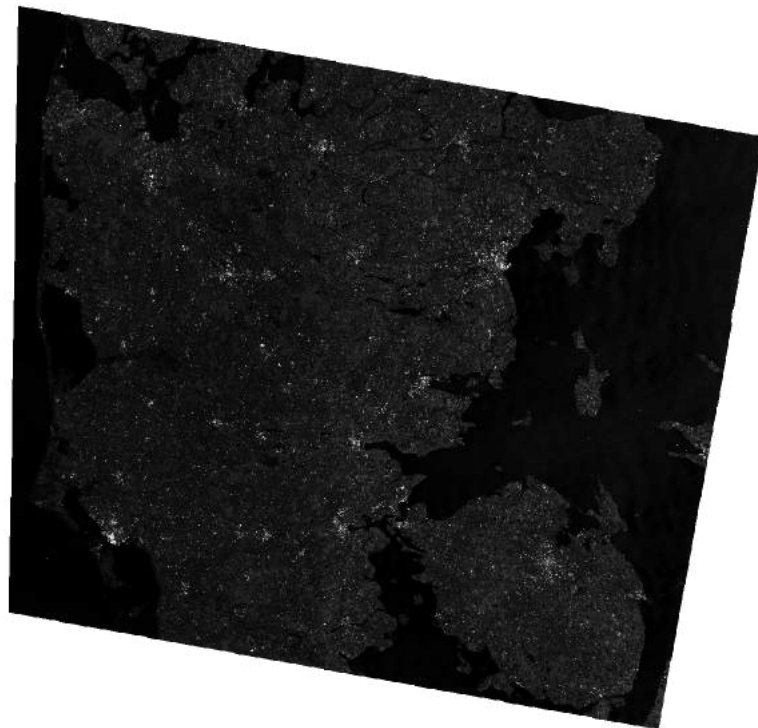
Figur B2. Satellitbillede efter anvendelse af trin 1: Thermal Noise Removal-værktøjet i SNAP Desktop.



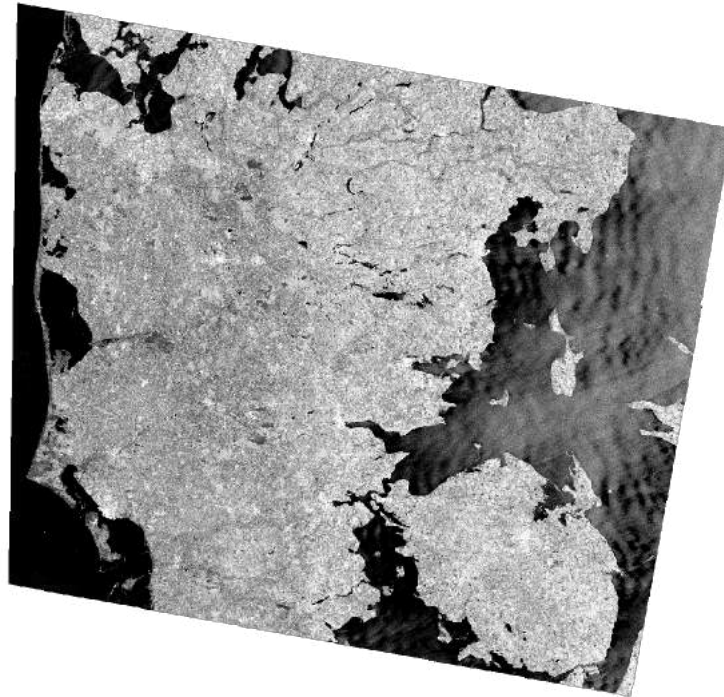
Figur B3. Satellitbillede efter anvendelse af trin 2: Calibration-værktøjet i SNAP Desktop.



Figur B4. Satellitbillede efter anvendelse af trin 3: Speckle-Filter-værktøjet i SNAP Desktop.



Figur B5. Satellitbillede efter anvendelse af trin 4: Terrain Correction-værktøjet i SNAP Desktop.



Figur B6. Satellitbillede efter anvendelse af trin 5: Convert to dB-værktøjet i SNAP Desktop.

Appendiks C - Python kode

I dette appendiks findes de forskellige eksporterede Python koder anvendt igennem del 3 i rapporten. Koden er eksporteret fra ModelBuilder i ArcGIS Pro. Der vil ikke være forklarende tekst igennem koden, da projektgruppen kun har et lille kendskab til Python kodning. Formålet med dette appendiks er at give Python-kendte læsere mulighed for at se de forskellige valg, der er foretaget i de anvendte værktøjer i GIS. Python koderne vil følge samme rækkefølge som de er anvendt igennem del 3 af rapporten.

Klipning af Threshold-kort til projektområde

```
1 # -*- coding: utf-8 -*-
2 """
3 Generated by ArcGIS ModelBuilder on : 2022-06-08 21:15:09
4 """
5 import arcpy
6 from sys import argv
7 def # NOT IMPLEMENTED# Function Body not implemented
8
9 def clip(Model_gdb="D:\\Universitet\\Speciale\\GIS\\Thresholding\\Model.gdb"): # Klipning til
    projektomrde
10
11     # To allow overwriting outputs change overwriteOutput option to True.
12     arcpy.env.overwriteOutput = False
13
14     arcpy.ImportToolbox(r"c:\users\rasmu\appdata\local\programs\arcgis\pro\Resources\ArcToolbox\tool
15     boxes\Data Management Tools.tbx.tbx")
16     # Model Environment settings
17     with arcpy.EnvManager(scratchWorkspace=r"D:\Universitet\Speciale\GIS\Thresholding\Model.gdb",
18     workspace=r"D:\Universitet\Speciale\GIS\Thresholding\Model.gdb"):
19         optegning_validering_rigtig = "optegning_validering_rigtig"
20
21     for j_orbit44_13dB, Name in # NOT IMPLEMENTED(Model_gdb, "j_*", "", "NOT_RECURSIVE"):
22
23         # Process: Raster to Polygon (Raster to Polygon) (conversion)
24         Name = "j_orbit44_13dB"
25         rast_Name_ = fr"D:\Universitet\Speciale\GIS\Thresholding\totalareal.gdb\rast_{Name}"
26         with arcpy.EnvManager(outputMFlag="Disabled", outputZFlag="Disabled"):
27             arcpy.conversion.RasterToPolygon(in_raster=j_orbit44_13dB,
28             out_polygon_features=rast_Name_, simplify="NO_SIMPLIFY", raster_field="Value",
29             create_multipart_features="MULTIPLE_OUTER_PART", max_vertices_per_feature=None)
30
31         # Process: Clip (Clip) (analysis)
32         clip_Name_ = fr"D:\Universitet\Speciale\GIS\Thresholding\totalareal.gdb\clip_{Name}"
33         arcpy.analysis.Clip(in_features=rast_Name_, clip_features=optegning_validering_rigtig,
34         out_feature_class=clip_Name_, cluster_tolerance="")
35
36         # Process: Dissolve (Dissolve) (management)
37         dis_Name_ = fr"D:\Universitet\Speciale\GIS\Thresholding\totalareal.gdb\dis_{Name}"
38         arcpy.management.Dissolve(in_features=clip_Name_, out_feature_class=dis_Name_,
39         dissolve_field=["gridcode"], statistics_fields=[], multi_part="MULTI_PART",
40         unsplit_lines="DISSOLVE_LINES")
41
42         # Process: Select Layer By Attribute (Select Layer By Attribute) (management)
43         clip_FeatureClass_Layer, Count =
44         arcpy.management.SelectLayerByAttribute(in_layer_or_view=dis_Name_,
```

```

38         selection_type="NEW_SELECTION", where_clause="gridcode = 1", invert_where_clause="")
39
40     # Process: Copy Features (Copy Features) (management)
41     areal_Name_ = fr"D:\Universitet\Speciale\GIS\Thresholding\totalareal.gdb\areal_{Name}"
42     arcpy.management.CopyFeatures(in_features=clip_FeatureClass_Layer,
43         out_feature_class=areal_Name_, config_keyword="", spatial_grid_1=None,
44         spatial_grid_2=None, spatial_grid_3=None)
45
46     # Process: Add Field (Add Field) (management)
47     areal_Name_2_ = arcpy.management.AddField(in_table=areal_Name_, field_name="areal",
48         field_type="DOUBLE", field_precision=None, field_scale=None, field_length=None,
49         field_alias="Areal", field_is_nullable="NULLABLE",
50         field_is_required="NON_REQUIRED", field_domain="")[0]
51
52     # Process: Calculate Geometry Attributes (Calculate Geometry Attributes) (management)
53     areal_Name_3_ = arcpy.management.CalculateGeometryAttributes(in_features=areal_Name_2_,
54         geometry_property=[["areal", "AREA"]],
55         length_unit="", area_unit="SQUARE_KILOMETERS",
56         coordinate_system="PROJCS[\"ETRS_1989_UTM_Zone_32N\",
57         GEOGCS[\"GCS_ETRS_1989\",
58         DATUM[\"D_ETRS_1989\", SPHEROID[\"GRS_1980\",6378137.0,298.257222101]],
59         PRIMEM[\"Greenwich\",0.0],UNIT[\"Degree\",0.0174532925199433]],
60         PROJECTION[\"Transverse_Mercator\"],PARAMETER[\"False_Easting\",500000.0],
61         PARAMETER[\"False_Northing\",0.0],
62         PARAMETER[\"Central_Meridian\",9.0],PARAMETER[\"Scale_Factor\",0.9996],
63         PARAMETER[\"Latitude_Of_Origin\",0.0],UNIT[\"Meter\",1.0]]\",
64         coordinate_format="SAME_AS_INPUT")[0]
65
66 if __name__ == '__main__':
67     # Global Environment settings
68     with arcpy.EnvManager(extent="531229,981768269 6195296,01041875 561202,981768269
69         6241839,01041875",
70         outputCoordinateSystem="PROJCS[\"ETRS_1989_UTM_Zone_32N\",GEOGCS[\"GCS_ETRS_1989\",
71         DATUM[\"D_ETRS_1989\",SPHEROID[\"GRS_1980\",6378137.0,298.257222101]],PRIMEM[\"Greenwich\",0.0],
72         UNIT[\"Degree\",0.0174532925199433]],PROJECTION[\"Transverse_Mercator\"],
73         PARAMETER[\"False_Easting\",500000.0],PARAMETER[\"False_Northing\",0.0],PARAMETER[\"Central_Meridian\",9.0],
74         PARAMETER[\"Scale_Factor\",0.9996],
75         PARAMETER[\"Latitude_Of_Origin\",0.0],UNIT[\"Meter\",1.0]]"):
76         clip(*argv[1:])

```

Inddeling af frekvenslag fra Change Detection i fejlområde-klasser

```

1  # -*- coding: utf-8 -*-
2  """
3  Generated by ArcGIS ModelBuilder on : 2022-06-08 21:19:29
4  """
5  import arcpy
6  from sys import argv
7
8  def Fejломraederklasser(Fejломrder_orbit_139="Change Detection\\Fejломrder orbit 139",
9      Fejломrder_orbit_44="Change Detection\\Fejломrder orbit 44", Fejломrder_orbit_66="Change
10     Detection\\Fejломrder orbit 66", orbit4470100="D:\\Universitet\\Speciale\\GIS\\Change
11     Detection\\Uden skvt omrde.gdb\\orbit4470100",
12     orbit4480100="D:\\Universitet\\Speciale\\GIS\\Change Detection\\Uden skvt
13     omrde.gdb\\orbit4480100", orbit6660100="D:\\Universitet\\Speciale\\GIS\\Change Detection\\Uden
14     skvt omrde.gdb\\orbit6660100", orbit6670100="D:\\Universitet\\Speciale\\GIS\\Change
15     Detection\\Uden skvt omrde.gdb\\orbit6670100",
16     orbit6680100="D:\\Universitet\\Speciale\\GIS\\Change Detection\\Uden skvt
17     omrde.gdb\\orbit6680100", orbit13960100="D:\\Universitet\\Speciale\\GIS\\Change
18     Detection\\Uden skvt omrde.gdb\\orbit13960100",
19     orbit13970100="D:\\Universitet\\Speciale\\GIS\\Change Detection\\Uden skvt
20     omrde.gdb\\orbit13970100", orbit13980100="D:\\Universitet\\Speciale\\GIS\\Change
21     Detection\\Uden skvt omrde.gdb\\orbit13980100",
22     optegning_validering_rigtig="optegning_validering_rigtig"): # Inddeling af fejlomrde klasser

```



```
9
10 # To allow overwriting outputs change overwriteOutput option to True.
11 arcpy.env.overwriteOutput = False
12
13 # Check out any necessary licenses.
14 arcpy.CheckOutExtension("spatial")
15 arcpy.CheckOutExtension("ImageAnalyst")
16 arcpy.CheckOutExtension("3D")
17
18 # Model Environment settings
19 with arcpy.EnvManager(extent="531229,981768269 6195296,01041875 561203,100034376
    6241838,89105294",
    outputCoordinateSystem="PROJCS["ETRS_1989_UTM_Zone_32N",GEOGCS["GCS_ETRS_1989",
20 DATUM["D_ETRS_1989",SPHEROID["GRS_1980",6378137.0,298.257222101]],
21 PRIMEM["Greenwich",0.0],UNIT["Degree",0.0174532925199433]],
22 PROJECTION["Transverse_Mercator"],PARAMETER["False_Easting",500000.0],PARAMETER["False_Northing",0.0],
23 PARAMETER["Central_Meridian",9.0],PARAMETER["Scale_Factor",0.9996],
24 PARAMETER["Latitude_Of_Origin",0.0],UNIT["Meter",1.0]]",
25 scratchWorkspace=r"D:\Universitet\Speciale\GIS\Change Detection\Model.gdb",
26 workspace=r"D:\Universitet\Speciale\GIS\Change Detection\Model.gdb"):
27
28 # Process: Clip Raster (Clip Raster) (management)
29 Fejlmrderorbit44_Clip = "D:\\Universitet\\Speciale\\GIS\\Change
    Detection\\Model.gdb\\Fejlmrderorbit44_Clip"
30 arcpy.management.Clip(in_raster=Fejlmrder_orbit_44, rectangle="531229,98176827
    6195296,01041876 554397,609800001 6241838,89105294", out_raster=Fejlmrderorbit44_Clip,
    in_template_dataset=optegnig_validering_rigtig, nodata_value="3,4e+38",
    clipping_geometry="NONE", maintain_clipping_extent="MAINTAIN_EXTENT")
31 Fejlmrderorbit44_Clip = arcpy.Raster(Fejlmrderorbit44_Clip)
32
33 # Process: Raster Calculator (Raster Calculator) (sa)
34 orbit4460100 = "D:\\Universitet\\Speciale\\GIS\\Change Detection\\Uden skvt
    omrde.gdb\\orbit4460100"
35 Raster_Calculator = orbit4460100
36 orbit4460100 = Con((Raster(rFejlmrderorbit44_Clip) >= 60),1,0)
37 orbit4460100.save(Raster_Calculator)
38
39
40 # Process: Reclassify (Reclassify) (sa)
41 orbit4460100_tif = "D:\\Universitet\\Speciale\\GIS\\Change Detection\\test\\orbit4460100.tif"
42 Reclassify = orbit4460100_tif
43 orbit4460100_tif = arcpy.sa.Reclassify(in_raster=orbit4460100, reclass_field="Value",
    remap="0 NODATA;1 1", missing_values="DATA")
44 orbit4460100_tif.save(Reclassify)
45
46
47 # Process: Raster Calculator (2) (Raster Calculator) (sa)
48 Raster_Calculator_2_ = orbit4470100
49 orbit4470100 = Con((Raster(rFejlmrderorbit44_Clip) >= 70),1,0)
50 orbit4470100.save(Raster_Calculator_2_)
51
52
53 # Process: Reclassify (2) (Reclassify) (sa)
54 orbit4470100_tif = "D:\\Universitet\\Speciale\\GIS\\Change Detection\\test\\orbit4470100.tif"
55 Reclassify_2_ = orbit4470100_tif
56 orbit4470100_tif = arcpy.sa.Reclassify(in_raster=orbit4470100, reclass_field="Value",
    remap="0 NODATA;1 1", missing_values="DATA")
57 orbit4470100_tif.save(Reclassify_2_)
58
59
60 # Process: Raster Calculator (3) (Raster Calculator) (sa)
61 Raster_Calculator_3_ = orbit4480100
62 orbit4480100 = Con((Raster(rFejlmrderorbit44_Clip) >= 80),1,0)
63 orbit4480100.save(Raster_Calculator_3_)
64
65
```

```
66 # Process: Reclassify (3) (Reclassify) (sa)
67 orbit4480100_tif = "D:\\Universitet\\Speciale\\GIS\\Change Detection\\test\\orbit4480100.tif"
68 Reclassify_3_ = orbit4480100_tif
69 orbit4480100_tif = arcpy.sa.Reclassify(in_raster=orbit4480100, reclass_field="Value",
70     remap="0 NODATA;1 1", missing_values="DATA")
71 orbit4480100_tif.save(Reclassify_3_)
72
73 # Process: Clip Raster (2) (Clip Raster) (management)
74 Fejlmrderorbit66_Clip = "D:\\Universitet\\Speciale\\GIS\\Change
75     Detection\\Model.gdb\\Fejlmrderorbit66_Clip"
76 arcpy.management.Clip(in_raster=Fejlmrder_orbit_66, rectangle="531229,98176827
77     6195296,01041876 554397,609800001 6241838,89105294", out_raster=Fejlmrderorbit66_Clip,
78     in_template_dataset=optegning_validering_rigtig, nodata_value="3,4e+38",
79     clipping_geometry="NONE", maintain_clipping_extent="MAINTAIN_EXTENT")
80 Fejlmrderorbit66_Clip = arcpy.Raster(Fejlmrderorbit66_Clip)
81
82 # Process: Raster Calculator (4) (Raster Calculator) (sa)
83 Raster_Calculator_4_ = orbit6660100
84 orbit6660100 = Con((Raster(rFejlmrderorbit66_Clip) >= 60),1,0)
85 orbit6660100.save(Raster_Calculator_4_)
86
87 # Process: Reclassify (4) (Reclassify) (sa)
88 orbit6660100_tif = "D:\\Universitet\\Speciale\\GIS\\Change Detection\\test\\orbit6660100.tif"
89 Reclassify_4_ = orbit6660100_tif
90 orbit6660100_tif = arcpy.sa.Reclassify(in_raster=orbit6660100, reclass_field="Value",
91     remap="0 NODATA;1 1", missing_values="DATA")
92 orbit6660100_tif.save(Reclassify_4_)
93
94 # Process: Raster Calculator (5) (Raster Calculator) (sa)
95 Raster_Calculator_5_ = orbit6670100
96 orbit6670100 = Con((Raster(rFejlmrderorbit66_Clip) >= 70),1,0)
97 orbit6670100.save(Raster_Calculator_5_)
98
99 # Process: Reclassify (5) (Reclassify) (sa)
100 orbit6670100_tif = "D:\\Universitet\\Speciale\\GIS\\Change Detection\\test\\orbit6670100.tif"
101 Reclassify_5_ = orbit6670100_tif
102 orbit6670100_tif = arcpy.sa.Reclassify(in_raster=orbit6670100, reclass_field="Value",
103     remap="0 NODATA;1 1", missing_values="DATA")
104 orbit6670100_tif.save(Reclassify_5_)
105
106 # Process: Raster Calculator (6) (Raster Calculator) (sa)
107 Raster_Calculator_6_ = orbit6680100
108 orbit6680100 = Con((Raster(rFejlmrderorbit66_Clip) >= 80),1,0)
109 orbit6680100.save(Raster_Calculator_6_)
110
111 # Process: Reclassify (6) (Reclassify) (sa)
112 orbit6680100_tif = "D:\\Universitet\\Speciale\\GIS\\Change Detection\\test\\orbit6680100.tif"
113 Reclassify_6_ = orbit6680100_tif
114 orbit6680100_tif = arcpy.sa.Reclassify(in_raster=orbit6680100, reclass_field="Value",
115     remap="0 NODATA;1 1", missing_values="DATA")
116 orbit6680100_tif.save(Reclassify_6_)
117
118 # Process: Clip Raster (3) (Clip Raster) (management)
119 Fejlmrderorbit139_Clip = "D:\\Universitet\\Speciale\\GIS\\Change
120     Detection\\Model.gdb\\Fejlmrderorbit139_Clip"
121 arcpy.management.Clip(in_raster=Fejlmrder_orbit_139, rectangle="531229,98176827
122     6195296,01041876 554397,609800001 6241838,89105294",
123     out_raster=Fejlmrderorbit139_Clip, in_template_dataset=optegning_validering_rigtig,
124     nodata_value="3,4e+38", clipping_geometry="NONE",
```

```

        maintain_clipping_extent="MAINTAIN_EXTENT")
120     Fejlmrderorbit139_Clip = arcpy.Raster(Fejlmrderorbit139_Clip)
121
122     # Process: Raster Calculator (7) (Raster Calculator) (sa)
123     Raster_Calculator_7_ = orbit13960100
124     orbit13960100 = Con((Raster(rFejlmrderorbit139_Clip) >= 60),1,0)
125     orbit13960100.save(Raster_Calculator_7_)
126
127
128     # Process: Reclassify (7) (Reclassify) (sa)
129     orbit13960100_tif = "D:\\Universitet\\Speciale\\GIS\\Change
        Detection\\test\\orbit13960100.tif"
130     Reclassify_7_ = orbit13960100_tif
131     orbit13960100_tif = arcpy.sa.Reclassify(in_raster=orbit13960100, reclass_field="Value",
        remap="0 NODATA;1 1", missing_values="DATA")
132     orbit13960100_tif.save(Reclassify_7_)
133
134
135     # Process: Raster Calculator (8) (Raster Calculator) (sa)
136     Raster_Calculator_8_ = orbit13970100
137     orbit13970100 = Con((Raster(rFejlmrderorbit139_Clip) >= 70),1,0)
138     orbit13970100.save(Raster_Calculator_8_)
139
140
141     # Process: Reclassify (8) (Reclassify) (sa)
142     orbit13970100_tif = "D:\\Universitet\\Speciale\\GIS\\Change
        Detection\\test\\orbit13970100.tif"
143     Reclassify_8_ = orbit13970100_tif
144     orbit13970100_tif = arcpy.sa.Reclassify(in_raster=orbit13970100, reclass_field="Value",
        remap="0 NODATA;1 1", missing_values="DATA")
145     orbit13970100_tif.save(Reclassify_8_)
146
147
148     # Process: Raster Calculator (9) (Raster Calculator) (sa)
149     Raster_Calculator_9_ = orbit13980100
150     orbit13980100 = Con((Raster(rFejlmrderorbit139_Clip) >= 80),1,0)
151     orbit13980100.save(Raster_Calculator_9_)
152
153
154     # Process: Reclassify (9) (Reclassify) (sa)
155     orbit13980100_tif = "D:\\Universitet\\Speciale\\GIS\\Change
        Detection\\test\\orbit13980100.tif"
156     Reclassify_9_ = orbit13980100_tif
157     orbit13980100_tif = arcpy.sa.Reclassify(in_raster=orbit13980100, reclass_field="Value",
        remap="0 NODATA;1 1", missing_values="DATA")
158     orbit13980100_tif.save(Reclassify_9_)
159
160
161     if __name__ == '__main__':
162         Fejlmraederklasser(*argv[1:])

```

Fjernelse af fejlområder fra Hændelsen

```

1 # -*- coding: utf-8 -*-
2 """
3 Generated by ArcGIS ModelBuilder on : 2022-06-08 21:21:25
4 """
5 import arcpy
6 from sys import argv
7 def # NOT IMPLEMENTED# Function Body not implemented
8
9 def fraklipning(final_Name_fr="D:\\Universitet\\Speciale\\GIS\\Change Detection\\Uden skvt
    omrde.gdb\\final_{Name}", test="D:\\Universitet\\Speciale\\GIS\\Change Detection\\test"): #
    Fjern fejlomrder fra orbit

```

```

10
11 # To allow overwriting outputs change overwriteOutput option to True.
12 arcpy.env.overwriteOutput = False
13
14 orbit44_poly =
15     "D:\\Universitet\\Speciale\\GIS\\Oversvømmelsehændelsen\\-15dB\\Omraede.gdb\\orbit44_poly"
16 fjern_permanentvand = "fjern_permanentvand"
17 for orbit4460100_tif, Name in # NOT IMPLEMENTED(test, "orbit*", "", "NOT_RECURSIVE"):
18
19     # Process: Raster to Polygon (Raster to Polygon) (conversion)
20     Name = "orbit4480100"
21     a_Name_ = fr"D:\Universitet\Speciale\GIS\Change Detection\Uden skvt omrde.gdb\a_{Name}"
22     with arcpy.EnvManager(outputMFlag="Disabled", outputZFlag="Disabled"):
23         arcpy.conversion.RasterToPolygon(in_raster=orbit4460100_tif,
24             out_polygon_features=a_Name_, simplify="NO_SIMPLIFY", raster_field="Value",
25             create_multipart_features="MULTIPLE_OUTER_PART", max_vertices_per_feature=None)
26
27     # Process: Select Layer By Attribute (Select Layer By Attribute) (management)
28     a_orbit4480100_Layer, Count =
29         arcpy.management.SelectLayerByAttribute(in_layer_or_view=a_Name_,
30             selection_type="NEW_SELECTION", where_clause="gridcode = 1", invert_where_clause="")
31
32     # Process: Copy Features (Copy Features) (management)
33     aa_Name_ = fr"D:\Universitet\Speciale\GIS\Change Detection\Uden skvt omrde.gdb\aa_{Name}"
34     arcpy.management.CopyFeatures(in_features=a_orbit4480100_Layer, out_feature_class=aa_Name_,
35         config_keyword="", spatial_grid_1=None, spatial_grid_2=None, spatial_grid_3=None)
36
37     # Process: Erase (Erase) (analysis)
38     aaa_Name_ = fr"D:\Universitet\Speciale\GIS\Change Detection\Uden skvt omrde.gdb\aaa_{Name}"
39     arcpy.analysis.Erase(in_features=orbit44_poly, erase_features=aa_Name_,
40         out_feature_class=aaa_Name_, cluster_tolerance="")
41
42     # Process: Clip (Clip) (analysis)
43     aaaa_Name_ = fr"D:\Universitet\Speciale\GIS\Change Detection\Uden skvt omrde.gdb\aaaa_{Name}"
44     arcpy.analysis.Clip(in_features=aaa_Name_, clip_features=fjern_permanentvand,
45         out_feature_class=aaaa_Name_, cluster_tolerance="")
46
47     # Process: Polygon to Raster (Polygon to Raster) (conversion)
48     arcpy.conversion.PolygonToRaster(in_features=aaaa_Name_, value_field="gridcode",
49         out_rasterdataset=final_Name_, cell_assignment="CELL_CENTER", priority_field="NONE",
50         cellsize="10", build_rat="BUILD")
51
52 if __name__ == '__main__':
53     # Global Environment settings
54     with arcpy.EnvManager(extent="531229,981768269 6195296,01041875 561202,981768269
55         6241839,01041875",
56         outputCoordinateSystem="PROJCS["ETRS_1989_UTM_Zone_32N",GEOGCS["GCS_ETRS_1989",
57         DATUM["D_ETRS_1989",SPHEROID["GRS_1980",6378137.0,298.257222101]],PRIMEM["Greenwich",0.0],
58         UNIT["Degree",0.0174532925199433]],PROJECTION["Transverse_Mercator"],
59         PARAMETER["False_Easting",500000.0],PARAMETER["False_Northing",0.0],
60         PARAMETER["Central_Meridian",9.0],PARAMETER["Scale_Factor",0.9996],
61         PARAMETER["Latitude_Of_Origin",0.0],UNIT["Meter",1.0]]",
62         scratchWorkspace=r"D:\Universitet\Speciale\GIS\Thresholding\Model.gdb",
63         workspace=r"D:\Universitet\Speciale\GIS\Thresholding\Model.gdb"):
64         fraklipping(*argv[1:])

```

Oprettelse af punkter til Confusion Matrix

```

1 # -*- coding: utf-8 -*-
2 """
3 Generated by ArcGIS ModelBuilder on : 2022-06-08 21:14:05
4 """
5 import arcpy

```

```

6 from sys import argv
7
8 def punkter(punkter_alle="D:\\Universitet\\Speciale\\GIS\\Thresholding\\Model.gdb\\punkter_alle"):
9     # Oprettelse af punkter til confusion matrix til validering af data
10
11     # To allow overwriting outputs change overwriteOutput option to True.
12     arcpy.env.overwriteOutput = False
13
14     # Check out any necessary licenses.
15     arcpy.CheckOutExtension("spatial")
16     arcpy.CheckOutExtension("ImageAnalyst")
17
18     optegning_validering_raster_tif = arcpy.Raster("optegning_validering_raster.tif")
19
20     # Process: Create Accuracy Assessment Points (Create Accuracy Assessment Points) (sa)
21     arcpy.sa.CreateAccuracyAssessmentPoints(in_class_data=optegning_validering_raster_tif,
22         out_points=punkter_alle, target_field="GROUND_TRUTH", num_random_points=944822,
23         sampling="RANDOM", polygon_dimension_field="")
24     .save(Create_Accuracy_Assessment_Points)
25
26 if __name__ == '__main__':
27     # Global Environment settings
28     with arcpy.EnvManager(extent="531229,981768269 6195296,01041875 561202,981768269
29         6241839,01041875",
30         outputCoordinateSystem="PROJCS["ETRS_1989_UTM_Zone_32N",GEOGCS["GCS_ETRS_1989",
31         DATUM["D_ETRS_1989",SPHEROID["GRS_1980",6378137.0,298.257222101]],PRIMEM["Greenwich",0.0],
32         UNIT["Degree",0.0174532925199433]],PROJECTION["Transverse_Mercator"],
33         PARAMETER["False_Easting",500000.0],PARAMETER["False_Northing",0.0],
34         PARAMETER["Central_Meridian",9.0],PARAMETER["Scale_Factor",0.9996],PARAMETER["Latitude_Of_Origin",0.0],
35         UNIT["Meter",1.0]]", scratchWorkspace=r"D:\Universitet\Speciale\GIS\Thresholding\Model.gdb",
36         workspace=r"D:\Universitet\Speciale\GIS\Thresholding\Model.gdb"):
37         punkter(*argv[1:])

```

Validering af Thresholding med Confusion Matrix

```

1 # -*- coding: utf-8 -*-
2 """
3 Generated by ArcGIS ModelBuilder on : 2022-06-08 21:24:25
4 """
5 import arcpy
6 from sys import argv
7 def # NOT IMPLEMENTED# Function Body not implemented
8
9 def confusionmatrix(_Name_xlsx=fr"D:\Universitet\Speciale\GIS\Thresholding\Confusion
10     matrix\Excel\ny\{Name}.xlsx", optegning_validering_rigtig="optegning_validering_rigtig",
11     Model_gdb="D:\Universitet\Speciale\GIS\Thresholding\Model.gdb",
12     permanentvand_poly="permanentvand_poly",
13     punkter_alle="D:\Universitet\Speciale\GIS\Thresholding\Model.gdb\punkter_alle"): #
14     Validering af thresholding med confusion matrix
15
16     # To allow overwriting outputs change overwriteOutput option to True.
17     arcpy.env.overwriteOutput = False
18
19     # Check out any necessary licenses.
20     arcpy.CheckOutExtension("spatial")
21     arcpy.CheckOutExtension("ImageAnalyst")
22     arcpy.CheckOutExtension("3D")
23
24     arcpy.ImportToolbox(r"c:\users\rasmu\appdata\local\programs\arcgis\pro\Resources\ArcToolbox\tool
25     boxes\Conversion Tools.tbx.tbx")
26     # Model Environment settings
27     with arcpy.EnvManager(cellSize="MAXOF", extent="531229,981768269 6195296,01041875
28         561202,981768269 6241839,01041875"):

```

```
23
24     for orbit44_13dB, Name in # NOT IMPLEMENTED(Model_gdb, "orbit*", "", "RECURSIVE"):
25
26         # Process: Int (Int) (sa)
27         Name = "orbit139_17"
28         int_Name_ = fr"D:\Universitet\Speciale\GIS\Overlapanalyse\output.gdb\int_{Name}"
29         Int = int_Name_
30         int_Name_ = arcpy.sa.Int(in_raster_or_constant=orbit44_13dB)
31         int_Name_.save(Int)
32
33
34         # Process: Raster to Polygon (Raster to Polygon) (conversion)
35         v_Name_ = fr"D:\Universitet\Speciale\GIS\Thresholding\Model.gdb\v_{Name}"
36         with arcpy.EnvManager(outputMFlag="Disabled", outputZFlag="Disabled"):
37             arcpy.conversion.RasterToPolygon(in_raster=int_Name_, out_polygon_features=v_Name_,
38                 simplify="NO_SIMPLIFY", raster_field="Value",
39                 create_multipart_features="SINGLE_OUTER_PART", max_vertices_per_feature=None)
40
41         # Process: Erase (Erase) (analysis)
42         h_Name_2_ = fr"D:\Universitet\Speciale\GIS\Thresholding\Model.gdb\h_{Name}"
43         arcpy.analysis.Erase(in_features=v_Name_, erase_features=permanentvand_poly,
44             out_feature_class=h_Name_2_, cluster_tolerance="")
45
46         # Process: Polygon to Raster (Polygon to Raster) (conversion)
47         ra_Name_ = fr"D:\Universitet\Speciale\GIS\Thresholding\Model.gdb\ra_{Name}"
48         arcpy.conversion.PolygonToRaster(in_features=h_Name_2_, value_field="GRIDCODE",
49             out_rasterdataset=ra_Name_, cell_assignment="CELL_CENTER", priority_field="NONE",
50             cellsize="10", build_rat="BUILD")
51
52         # Process: Clip Raster (Clip Raster) (management)
53         j_Name_ = fr"D:\Universitet\Speciale\GIS\Thresholding\Model.gdb\j_{Name}"
54         arcpy.management.Clip(in_raster=ra_Name_, rectangle="531229,98176827 6195296,01041876
55             554397,609800001 6241838,89105294", out_raster=j_Name_,
56             in_template_dataset=optegning_validering_rigtig, nodata_value="15",
57             clipping_geometry="ClippingGeometry", maintain_clipping_extent="MAINTAIN_EXTENT")
58         j_Name_ = arcpy.Raster(j_Name_)
59
60         # Process: Update Accuracy Assessment Points (Update Accuracy Assessment Points) (sa)
61         _Name_punkter = fr"D:\Universitet\Speciale\GIS\Thresholding\Model.gdb\{Name}_punkter"
62         arcpy.sa.UpdateAccuracyAssessmentPoints(in_class_data=j_Name_, in_points=punkter_alle,
63             out_points=_Name_punkter, target_field="CLASSIFIED", polygon_dimension_field="",
64             point_dimension_field="")
65         .save(Update_Accuracy_Assessment_Points)
66
67         # Process: Select Layer By Attribute (Select Layer By Attribute) (management)
68         orbit13980100_punkter_Layer, Count =
69             arcpy.management.SelectLayerByAttribute(in_layer_or_view=_Name_punkter,
70                 selection_type="NEW_SELECTION", where_clause="Classified <> -1",
71                 invert_where_clause="")
72
73         # Process: Copy Features (Copy Features) (management)
74         _Name_punkterudenfejl =
75             fr"D:\Universitet\Speciale\GIS\Thresholding\Model.gdb\{Name}_punkterudenfejl"
76         arcpy.management.CopyFeatures(in_features=orbit13980100_punkter_Layer,
77             out_feature_class=_Name_punkterudenfejl, config_keyword="", spatial_grid_1=None,
78             spatial_grid_2=None, spatial_grid_3=None)
79
80         # Process: Compute Confusion Matrix (Compute Confusion Matrix) (sa)
81         _Name_dbf = fr"D:\Universitet\Speciale\GIS\Thresholding\Confusion matrix\{Name}.dbf"
82         arcpy.sa.ComputeConfusionMatrix(in_accuracy_assessment_points=_Name_punkterudenfejl,
83             out_confusion_matrix=_Name_dbf)
84         .save(Compute_Confusion_Matrix)
85
86         # Process: Table To Excel (Table To Excel) (conversion)
```

```

72     arcpy.conversion.TableToExcel(Input_Table=_Name_dbf, Output_Excel_File=_Name_xlsx,
73                                   Use_field_alias_as_column_header="NAME", Use_domain_and_subtype_description="CODE")
74 if __name__ == '__main__':
75     # Global Environment settings
76     with
77         arcpy.EnvManager(outputCoordinateSystem="PROJCS["ETRS_1989_UTM_Zone_32N",GEOGCS["GCS_ETRS_1989",
78 DATUM["D_ETRS_1989",SPHEROID["GRS_1980",6378137.0,298.257222101]],PRIMEM["Greenwich",0.0],
79 UNIT["Degree",0.0174532925199433]],PROJECTION["Transverse_Mercator"],
80 PARAMETER["False_Easting",500000.0],PARAMETER["False_Northing",0.0],
81 PARAMETER["Central_Meridian",9.0],PARAMETER["Scale_Factor",0.9996],PARAMETER["Latitude_Of_Origin",0.0],
82 UNIT["Meter",1.0]], scratchWorkspace=r"D:\Universitet\Speciale\GIS\Thresholding\Model.gdb",
83 workspace=r"D:\Universitet\Speciale\GIS\Thresholding\Model.gdb"):
84     confusionmatrix(*argv[1:])

```

Validering af Change Detection med Confusion Matrix

```

1  # -*- coding: utf-8 -*-
2  """
3  Generated by ArcGIS ModelBuilder on : 2022-06-08 21:23:27
4  """
5  import arcpy
6  from sys import argv
7  def # NOT IMPLEMENTED# Function Body not implemented
8
9  def confusionmatrix(Uden_skvt_omrde_gdb="D:\\Universitet\\Speciale\\GIS\\Change Detection\\Uden
   skvt_omrde.gdb", _Name_xls=fr"D:\Universitet\Speciale\GIS\Change Detection\Confusion
   matrix\New Folder\{Name}.xls", optegning_validering_rigtig="optegning_validering_rigtig",
   punkter_total="D:\\Universitet\\Speciale\\GIS\\Change Detection\\Uden skvt
   omrde.gdb\\punkter_total"): # Validering af change detection med confusion matrix
10
11     # To allow overwriting outputs change overwriteOutput option to True.
12     arcpy.env.overwriteOutput = False
13
14     # Check out any necessary licenses.
15     arcpy.CheckOutExtension("spatial")
16     arcpy.CheckOutExtension("ImageAnalyst")
17     arcpy.CheckOutExtension("3D")
18
19     arcpy.ImportToolbox(r"c:\users\rasmu\appdata\local\programs\arcgis\pro\Resources\ArcToolbox\tool
   boxes\Conversion Tools.tbx.tbx")
20
21     # Model Environment settings
22     with arcpy.EnvManager(cellSize="MAXOF", extent="531229,981768269 6195296,01041875
   561202,981768269 6241839,01041875"):
23
24         for final_a_orbit4460100, Name in # NOT IMPLEMENTED(Uden_skvt_omrde_gdb, "final*", "",
   "NOT_RECURSIVE"):
25
26             # Process: Reclassify (Reclassify) (sa)
27             Name = "final_orbit13980100"
28             re_Name_ = fr"D:\Universitet\Speciale\GIS\Change Detection\Uden skvt_omrde.gdb\re_{Name}"
29             Reclassify = re_Name_
30             re_Name_ = arcpy.sa.Reclassify(in_raster=final_a_orbit4460100, reclass_field="Value",
   remap=";NODATA 0", missing_values="DATA")
31             re_Name_..save(Reclassify)
32
33
34             # Process: Clip Raster (Clip Raster) (management)
35             clip_Name_ = fr"D:\Universitet\Speciale\GIS\Change Detection\Uden skvt
   omrde.gdb\clip_{Name}"
36             arcpy.management.Clip(in_raster=re_Name_, rectangle="531229,98176827 6195296,01041876
   554397,609800001 6241838,89105294", out_raster=clip_Name_,
   in_template_dataset=optegning_validering_rigtig, nodata_value="127",
   clipping_geometry="ClippingGeometry", maintain_clipping_extent="MAINTAIN_EXTENT")

```

```

37     clip_Name_ = arcpy.Raster(clip_Name_)
38
39     # Process: Update Accuracy Assessment Points (Update Accuracy Assessment Points) (sa)
40     _Name_punkter = fr"D:\Universitet\Speciale\GIS\Change Detection\Uden skvt
41     omrde.gdb\{Name}_punkter"
42     arcpy.sa.UpdateAccuracyAssessmentPoints(in_class_data=clip_Name_,
43     in_points=punkter_total, out_points=_Name_punkter, target_field="CLASSIFIED",
44     polygon_dimension_field="", point_dimension_field="")
45     .save(Update_Accuracy_Assessment_Points)
46
47     # Process: Select Layer By Attribute (Select Layer By Attribute) (management)
48     orbit13980100_punkter_Layer, Count =
49     arcpy.management.SelectLayerByAttribute(in_layer_or_view=_Name_punkter,
50     selection_type="NEW_SELECTION", where_clause="Classified <> -1",
51     invert_where_clause="")
52
53     # Process: Copy Features (Copy Features) (management)
54     _Name_punkterudenfejl = fr"D:\Universitet\Speciale\GIS\Change Detection\Uden skvt
55     omrde.gdb\{Name}_punkterudenfejl"
56     arcpy.management.CopyFeatures(in_features=orbit13980100_punkter_Layer,
57     out_feature_class=_Name_punkterudenfejl, config_keyword="", spatial_grid_1=None,
58     spatial_grid_2=None, spatial_grid_3=None)
59
60     # Process: Compute Confusion Matrix (Compute Confusion Matrix) (sa)
61     _Name_dbf = fr"D:\Universitet\Speciale\GIS\Change Detection\Confusion
62     matrix\Rettet\{Name}.dbf"
63     arcpy.sa.ComputeConfusionMatrix(in_accuracy_assessment_points=_Name_punkterudenfejl,
64     out_confusion_matrix=_Name_dbf)
65     .save(Compute_Confusion_Matrix)
66
67     # Process: Table To Excel (Table To Excel) (conversion)
68     arcpy.conversion.TableToExcel(Input_Table=_Name_dbf, Output_Excel_File=_Name_xls,
69     Use_field_alias_as_column_header="NAME", Use_domain_and_subtype_description="CODE")
70
71 if __name__ == '__main__':
72     # Global Environment settings
73     with
74         arcpy.EnvManager(outputCoordinateSystem="PROJCS["ETRS_1989_UTM_Zone_32N",GEOGCS["GCS_ETRS_1989",
75     DATUM["D_ETRS_1989",SPHEROID["GRS_1980",6378137.0,298.257222101]],PRIMEM["Greenwich",0.0],
76     UNIT["Degree",0.0174532925199433]],PROJECTION["Transverse_Mercator"],
77     PARAMETER["False_Easting",500000.0],PARAMETER["False_Northing",0.0],
78     PARAMETER["Central_Meridian",9.0],PARAMETER["Scale_Factor",0.9996],PARAMETER["Latitude_Of_Origin",0.0],
79     UNIT["Meter",1.0]]", scratchWorkspace=r"D:\Universitet\Speciale\GIS\Thresholding\Model.gdb",
80     workspace=r"D:\Universitet\Speciale\GIS\Thresholding\Model.gdb"):
81     confusionmatrix(*argv[1:])

```

Overlapanalyse: total vand

```

1  # -*- coding: utf-8 -*-
2  """
3  Generated by ArcGIS ModelBuilder on : 2022-06-08 19:48:50
4  """
5  import arcpy
6  import os
7
8  from sys import argv
9  def FeatureClassGenerator(workspace, wild_card, feature_type, recursive) :
10     with arcpy.EnvManager(workspace = workspace):
11
12         dataset_list = [""]
13         if recursive:
14             datasets = arcpy.ListDatasets()

```



```

15     dataset_list.extend(datasets)
16
17     for dataset in dataset_list:
18         featureclasses = arcpy.ListFeatureClasses(wild_card, feature_type, dataset)
19         for fc in featureclasses:
20             yield os.path.join(workspace, dataset, fc), fc
21
22
23 def overlapanalyse(Vand_fra_referencenkort="Vand fra referencenkort",
24                   totalareal_gdb="D:\\Universitet\\Speciale\\GIS\\Thresholding\\totalareal.gdb"): #
25     Overlapanalyse
26
27     # To allow overwriting outputs change overwriteOutput option to True.
28     arcpy.env.overwriteOutput = False
29
30     arcpy.ImportToolbox(r"c:\users\rasmu\appdata\local\programs\arcgis\pro\Resources\ArcToolbox\tool
31     boxes\Data Management Tools.tbx.tbx")
32
33     for areal_j_orbit44_13dB, Name in FeatureClassGenerator(totalareal_gdb, "areal_j*", "POLYGON",
34                   "NOT_RECURSIVE"):
35
36         # Process: Add Field (2) (Add Field) (management)
37         c_clip_final_orbit13980100 = arcpy.management.AddField(in_table=areal_j_orbit44_13dB,
38                   field_name="areal", field_type="DOUBLE", field_precision=None, field_scale=None,
39                   field_length=None, field_alias="Areal km2", field_is_nullable="NULLABLE",
40                   field_is_required="NON_REQUIRED", field_domain="")[0]
41
42         # Process: Calculate Geometry Attributes (2) (Calculate Geometry Attributes) (management)
43         c_clip_final_orbit13980100_2_ =
44             arcpy.management.CalculateGeometryAttributes(in_features=c_clip_final_orbit13980100,
45                   geometry_property=[["areal", "AREA"]], length_unit="", area_unit="SQUARE_KILOMETERS",
46                   coordinate_system="PROJCS[\"ETRS_1989_UTM_Zone_32N\",GEOGCS[\"GCS_ETRS_1989\",
47                   DATUM[\"D_ETRS_1989\",SPHEROID[\"GRS_1980\",6378137.0,298.257222101]],PRIMEM[\"Greenwich\",0.0],
48                   UNIT[\"Degree\",0.0174532925199433]],PROJECTION[\"Transverse_Mercator\"],
49                   PARAMETER[\"False_Easting\",500000.0],PARAMETER[\"False_Northing\",0.0],
50                   PARAMETER[\"Central_Meridian\",9.0],PARAMETER[\"Scale_Factor\",0.9996],
51                   PARAMETER[\"Latitude_Of_Origin\",0.0],UNIT[\"Meter\",1.0]]\",
52                   coordinate_format="SAME_AS_INPUT")[0]
53
54         # Process: Multipart To Singlepart (Multipart To Singlepart) (management)
55         Name = "areal_j_r1695"
56         s_Name_ = fr"D:\Universitet\Speciale\GIS\Overlapanalyse\output.gdb\s_{Name}"
57         arcpy.management.MultipartToSinglepart(in_features=c_clip_final_orbit13980100_2_,
58                   out_feature_class=s_Name_)
59
60         # Process: Select Layer By Location (Select Layer By Location) (management)
61         c_clip_final_c_orbit44_13dB_, Output_Layer_Names, Count =
62             arcpy.management.SelectLayerByLocation(in_layer=[s_Name_], overlap_type="INTERSECT",
63                   select_features=Vand_fra_referencenkort, search_distance="",
64                   selection_type="NEW_SELECTION", invert_spatial_relationship="INVERT")
65
66         # Process: Copy Features (Copy Features) (management)
67         forskel_Name_ = fr"D:\Universitet\Speciale\GIS\Overlapanalyse\output.gdb\forskel_{Name}"
68         arcpy.management.CopyFeatures(in_features=c_clip_final_c_orbit44_13dB_,
69                   out_feature_class=forskel_Name_, config_keyword="", spatial_grid_1=None,
70                   spatial_grid_2=None, spatial_grid_3=None)
71
72         # Process: Dissolve (Dissolve) (management)
73         rigtig_Name_ = fr"D:\Universitet\Speciale\GIS\Overlapanalyse\output.gdb\rigtig_{Name}"
74         arcpy.management.Dissolve(in_features=forskel_Name_, out_feature_class=rigtig_Name_,
75                   dissolve_field=["gridcode"], statistics_fields=[], multi_part="MULTI_PART",
76                   unsplit_lines="DISSOLVE_LINES")
77
78         # Process: Add Field (Add Field) (management)
79         final_Name_2_ = arcpy.management.AddField(in_table=rigtig_Name_, field_name="areal",
80                   field_type="DOUBLE", field_precision=None, field_scale=None, field_length=None,

```

```

        field_alias="Areal km2", field_is_nullable="NULLABLE",
        field_is_required="NON_REQUIRED", field_domain="")[0]
62
63 # Process: Calculate Geometry Attributes (Calculate Geometry Attributes) (management)
64 final_Name_3_ = arcpy.management.CalculateGeometryAttributes(in_features=final_Name_2_,
        geometry_property=[["areal", "AREA"]], length_unit="", area_unit="SQUARE_KILOMETERS",
        coordinate_system="PROJCS[\"ETRS_1989_UTM_Zone_32N\",GEOGCS[\"GCS_ETRS_1989\",
65 DATUM[\"D_ETRS_1989\",SPHEROID[\"GRS_1980\",6378137.0,298.257222101]],
66 PRIMEM[\"Greenwich\",0.0],UNIT[\"Degree\",0.0174532925199433]],
67 PROJECTION[\"Transverse_Mercator\"],PARAMETER[\"False_Easting\",500000.0],
68 PARAMETER[\"False_Northing\",0.0],PARAMETER[\"Central_Meridian\",9.0],
69 PARAMETER[\"Scale_Factor\",0.9996],PARAMETER[\"Latitude_Of_Origin\",0.0],
70 UNIT[\"Meter\",1.0]]", coordinate_format="SAME_AS_INPUT")[0]
71
72 if __name__ == '__main__':
73     # Global Environment settings
74     with arcpy.EnvManager(extent="531229,981768269 6195296,01041875 561202,981768269
        6241839,01041875",
        outputCoordinateSystem="PROJCS[\"ETRS_1989_UTM_Zone_32N\",GEOGCS[\"GCS_ETRS_1989\",
75 DATUM[\"D_ETRS_1989\",SPHEROID[\"GRS_1980\",6378137.0,298.257222101]],PRIMEM[\"Greenwich\",0.0],
76 UNIT[\"Degree\",0.0174532925199433]],PROJECTION[\"Transverse_Mercator\"],
77 PARAMETER[\"False_Easting\",500000.0],PARAMETER[\"False_Northing\",0.0],
78 PARAMETER[\"Central_Meridian\",9.0],PARAMETER[\"Scale_Factor\",0.9996],PARAMETER[\"Latitude_Of_Origin\",0.0],
79 UNIT[\"Meter\",1.0]]", scratchWorkspace=r"D:\Universitet\Speciale\GIS\Thresholding\Model.gdb",
80 workspace=r"D:\Universitet\Speciale\GIS\Thresholding\Model.gdb"):
81     overlapanalyse(*argv[1:])

```

Overlapanalyse: rigtig og forkert vand

```

1 # -*- coding: utf-8 -*-
2 """
3 Generated by ArcGIS ModelBuilder on : 2022-06-05 13:47:05
4 """
5 import arcpy
6 import os
7
8 from sys import argv
9 def FeatureClassGenerator(workspace, wild_card, feature_type, recursive) :
10     with arcpy.EnvManager(workspace = workspace):
11
12         dataset_list = []
13         if recursive:
14             datasets = arcpy.ListDatasets()
15             dataset_list.extend(datasets)
16
17         for dataset in dataset_list:
18             featureclasses = arcpy.ListFeatureClasses(wild_card, feature_type, dataset)
19             for fc in featureclasses:
20                 yield os.path.join(workspace, dataset, fc), fc
21
22
23 def overlaps(totalareal_gdb="D:\\Universitet\\Speciale\\GIS\\Thresholding\\totalareal.gdb"): #
24     Overlap2
25
26     # To allow overwriting outputs change overwriteOutput option to True.
27     arcpy.env.overwriteOutput = False
28
29     arcpy.ImportToolbox(r"c:\users\rasmu\appdata\local\programs\arcgis\pro\Resources\ArcToolbox\tool
30 boxes\Data Management Tools.tbx.tbx")
31     optegning_kunvand = "optegning_kunvand"
32
33     for areal_j_orbit44_13dB, Name in FeatureClassGenerator(totalareal_gdb, "areal_j*", "POLYGON",
34         "NOT_RECURSIVE"):

```

```

34     # Process: Erase (Erase) (analysis)
35     Name = "areal_j_r1695"
36     final_Name_ = fr"D:\Universitet\Speciale\GIS\Overlapanalyse\output_overlap.gdb\final_{Name}"
37     arcpy.analysis.Erase(in_features=areal_j_orbit44_13dB, erase_features=optegning_kunvand,
38                          out_feature_class=final_Name_, cluster_tolerance="")
39
40     # Process: Add Field (Add Field) (management)
41     final_Name_3_ = arcpy.management.AddField(in_table=final_Name_, field_name="area",
42                                               field_type="DOUBLE", field_precision=None, field_scale=None, field_length=None,
43                                               field_alias="Areal km2", field_is_nullable="NULLABLE",
44                                               field_is_required="NON_REQUIRED", field_domain="")[0]
45
46     # Process: Calculate Geometry Attributes (Calculate Geometry Attributes) (management)
47     final_Name_2_ = arcpy.management.CalculateGeometryAttributes(in_features=final_Name_3_,
48                                                                    geometry_property=[["area", "AREA"]], length_unit="", area_unit="SQUARE_KILOMETERS",
49                                                                    coordinate_system="PROJCS[\"ETRS_1989_UTM_Zone_32N\",GEOGCS[\"GCS_ETRS_1989\",
50                                                                    DATUM[\"D_ETRS_1989\",SPHEROID[\"GRS_1980\",6378137.0,298.257222101]],PRIMEM[\"Greenwich\",0.0],
51                                                                    UNIT[\"Degree\",0.0174532925199433]],PROJECTION[\"Transverse_Mercator\"],
52                                                                    PARAMETER[\"False_Easting\",500000.0],PARAMETER[\"False_Northing\",0.0],
53                                                                    PARAMETER[\"Central_Meridian\",9.0],PARAMETER[\"Scale_Factor\",0.9996],
54                                                                    PARAMETER[\"Latitude_Of_Origin\",0.0],UNIT[\"Meter\",1.0]]\",
55                                                                    coordinate_format="SAME_AS_INPUT")[0]
56
57 if __name__ == '__main__':
58     # Global Environment settings
59     with arcpy.EnvManager(extent="531229,981768269 6195296,01041875 561202,981768269
60                             6241839,01041875",
61                            outputCoordinateSystem="PROJCS[\"ETRS_1989_UTM_Zone_32N\",GEOGCS[\"GCS_ETRS_1989\",
62                            DATUM[\"D_ETRS_1989\",SPHEROID[\"GRS_1980\",6378137.0,298.257222101]],PRIMEM[\"Greenwich\",0.0],
63                            UNIT[\"Degree\",0.0174532925199433]],PROJECTION[\"Transverse_Mercator\"],
64                            PARAMETER[\"False_Easting\",500000.0],PARAMETER[\"False_Northing\",0.0],
65                            PARAMETER[\"Central_Meridian\",9.0],PARAMETER[\"Scale_Factor\",0.9996],PARAMETER[\"Latitude_Of_Origin\",0.0],
66                            UNIT[\"Meter\",1.0]]\", scratchWorkspace=r"D:\Universitet\Speciale\GIS\Thresholding\Model.gdb",
67                            workspace=r"D:\Universitet\Speciale\GIS\Thresholding\Model.gdb"):
68         overlaps(*argv[1:])

```


Appendiks D - Hentning af data fra ESA

Dette afsnit vil indeholde en beskrivelse af en fremgangsmåde til at finde og hente data fra ESA's satellitter igennem deres online data-hub *Copernicus* fra ESA, u.d.[b]. Denne beskrivelse vil starte ud med hvordan der på Copernicus kan søges og filtreres efter præcis den type satellitbillede der ønskes. Heri vil der også refereres tilbage til nogle af de begreber, der blev beskrevet tilbage i kapitel 2 *Hvad er radar?*. På figur D1 ses det vindue der dukker op, når det ønskes at søge efter data.

The screenshot shows the 'Advanced Search' interface for the Copernicus data hub. It features a 'Clear' button in the top right corner. The search criteria are organized into three sections, one for each mission: Sentinel-1, Sentinel-2, and Sentinel-3. Each section includes a 'Mission' radio button, a 'Satellite Platform' dropdown, and various other filters. The Sentinel-1 section includes filters for 'Ingestion Date', 'Order By' (set to 'Descending'), 'Sensing period', 'Ingestion period', 'Polarisation', 'Relative Orbit Number (from 1 to 175)', and 'Sensor Mode'. The Sentinel-2 section includes filters for 'Product Type', 'Relative Orbit Number (from 1 to 143)', and 'Cloud Cover % (e.g.[0 TO 9.4])'. The Sentinel-3 section includes filters for 'Product Type', 'Timeliness', 'Instrument', 'Product Level', and 'Relative Orbit Start [1-385]'. Each filter is represented by a text input field or a dropdown menu.

Figur D1. Søgningvindue til hentning af satellitbilleder fra ESA, u.d.[b].

I første omgang kan det se uoverskueligt ud, men første trin er vælge hvilket satellitsystem der ønskes data fra, som i dette projekt er Sentinel 1. Som nævnt kan data fra Sentinel 2 anvendes som erstatning til de anvendte luftfotos. Sentinel 3 er derimod ikke introduceret tidligere, men er heller ikke relevant i projektsammenhængen, da formålet med Sentinel 3-missionen ikke er at kortlægge oversvømmelser. De relevante parametre at vælge for de anvendte satellitbilleder i dette projekt er; *product type*, *polarisation*, *sensor mode* og *relative orbit number*. For satellitplatformen er det ikke nødvendigt at vælge Sentinel 1A

fremfor Sentinel 1B og omvendt, da satellitterne er ens, og derfor ønskes det at kunne vælge data fra satellitten der dækker det valgte område i det rette tidspunkt. Produkt typen dækker over de forskellige mængder af forbehandling foretaget af ESA, hvor der her vælges GRD-produktet, som betyder, at forstyrrelserne beskrevet i kapitel 3 er fjernet. Dernæst vælges polariseringen VV, da den bedst kan se vand og derved differentiere mellem land og vand. For parameteren *sensor mode* har brugeren i de fleste tilfælde ikke et valg, da de forskellige tilstande er bestemt ud fra overfladen der laves data på. For data over landområder anvendes tilstanden IW. Til sidst skal det relative orbit vælges, hvilket, som nævnt, har en betydeligt effekt på resultatet. Denne betydelige effekt opstår på baggrund af, at det relative orbit bestemmer hvilken incident vinkel der produceres satellitbilleder med. Yderligere er det vigtigt at alle kort der anvendes til at vise en forskel mellem to tidspunkter, har den samme relative orbit, da der ellers vil forekomme en vis forskel i backscatter. For projektområdet findes der tre orbit, der rammer hele området, og de er 44, 66 og 139.

Nu er de relevante parametre blevet valgt, og der kan nu vælges et område samt tidspunkt, hvor Copernicus skal vise satellitbilleder. Tidspunktet vælges i samme vindue som på figuren, hvor der er i boksen "Sort By" kan vælges at sortere efter *ingestion date* eller *sensing date*, som henholdsvis dækker over tidspunktet data er udgivet på data-hubben og hvornår data er produceret fra satellittens side. Det giver derfor mening at sortere efter sidstnævnte, da der så fås en kronologisk rækkefølge i billederne. Herefter kan den ønskede tidsperiode vælges for enten *sensing period* eller *ingestion period*.

Sentinel 1-missionen har kørt siden 2014 for Sentinel 1A og 2016 for Sentinel 1B, og da hvert GRD-produkt fylder omkring 1,65 gigabyte, har ESA ikke nok server-kapacitet til at have alt data klar til at hente. Derfor er det kun de nyeste satellitbilleder, der kan hentes med det samme, og derfor skal ældre produkter bestilles, hvor der opstår en ventetid på få timer, eller dage i nogle tilfælde. For at tydeliggøre hvor meget data Sentinel 1-satellitterne producerer, kan det fortælles, at der i slutningen af 2020 var produceret omkring seks millioner produkter (GRD og de andre typer). Desuden var der blevet hentet omkring 30 millioner satellitbilleder gennem data-hubben som resulterer i en datamængde på omkring 40 petabytes som er 40 millioner gigabytes [ESA, u.d.(j)].

» Sort By: Sensing Date

» Order By: Descending

» Sensing period: 2020/02/27

» Ingestion period:

☑ Mission: Sentinel-1

Satellite Platform:

Product Type: GRD

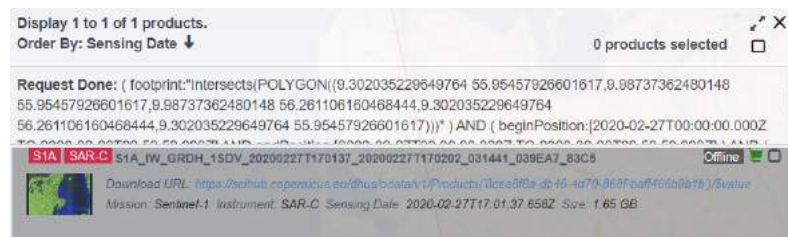
Polarisation: VV

Sensor Mode: IW

Relative Orbit Number (from 1 to 175): 44

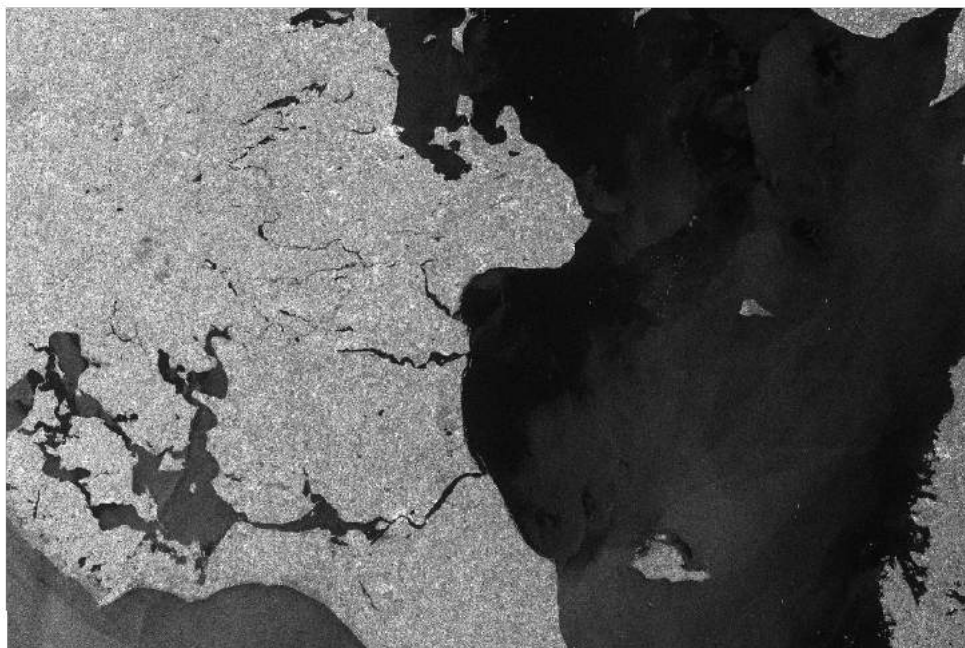
Figur D2. Søgningparametre til at finde ét af tre anvendte satellitbilleder til første koncept.

På figur D2 ses søgningsparametrene, der skal til for at finde et satellitbillede for orbit 44, som skal anvendes i første koncept sammen med de to resterende orbitnumre 66 og 139. På figur D3 ses søgningsresultatet, hvor det ses, at satellitbilledet er offline på dette tidspunkt, og derfor skal bestilles.



Figur D3. Resultatet for søgningen fra figur D2.

På figur D4 er det resulterende satellitbillede vist, som findes ud fra de søgningsparametre, der er angivet i D2.

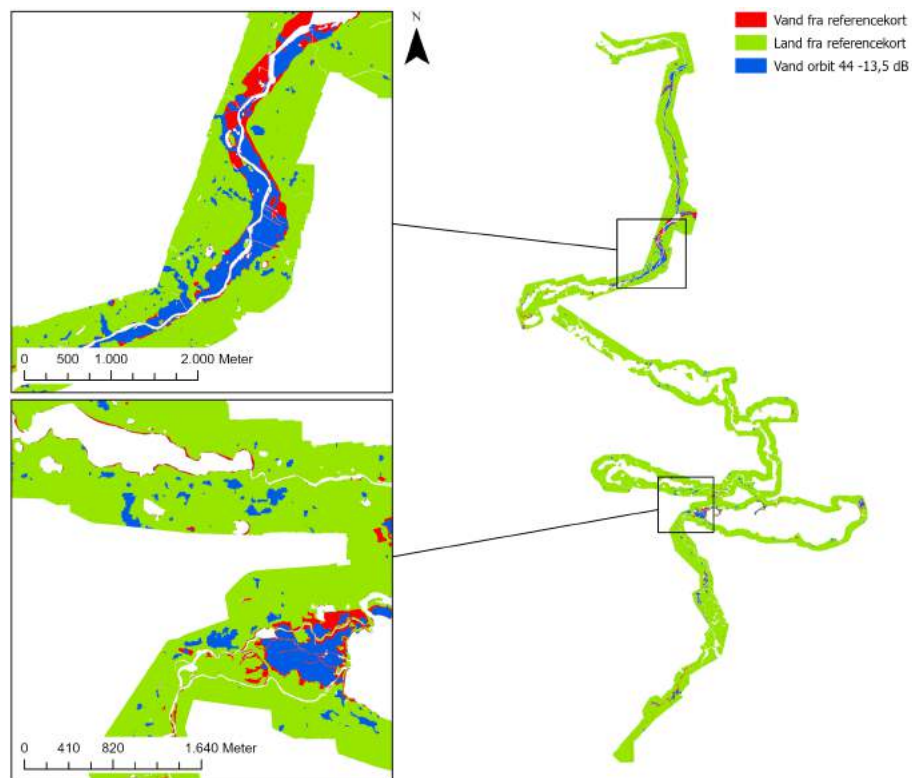


Figur D4. Det resulterende satellitbillede der findes med de anvendte søgningsparametre.

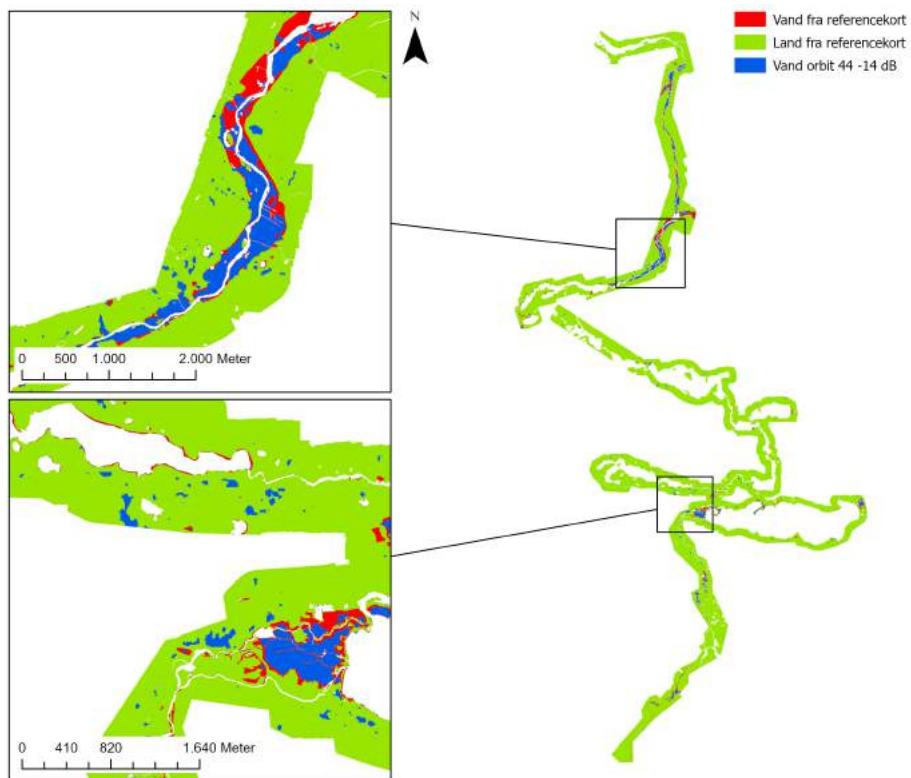
Appendiks E - Færdige oversvømmelseskort

E1 Oversvømmelseskort fra Threshold-konceptet

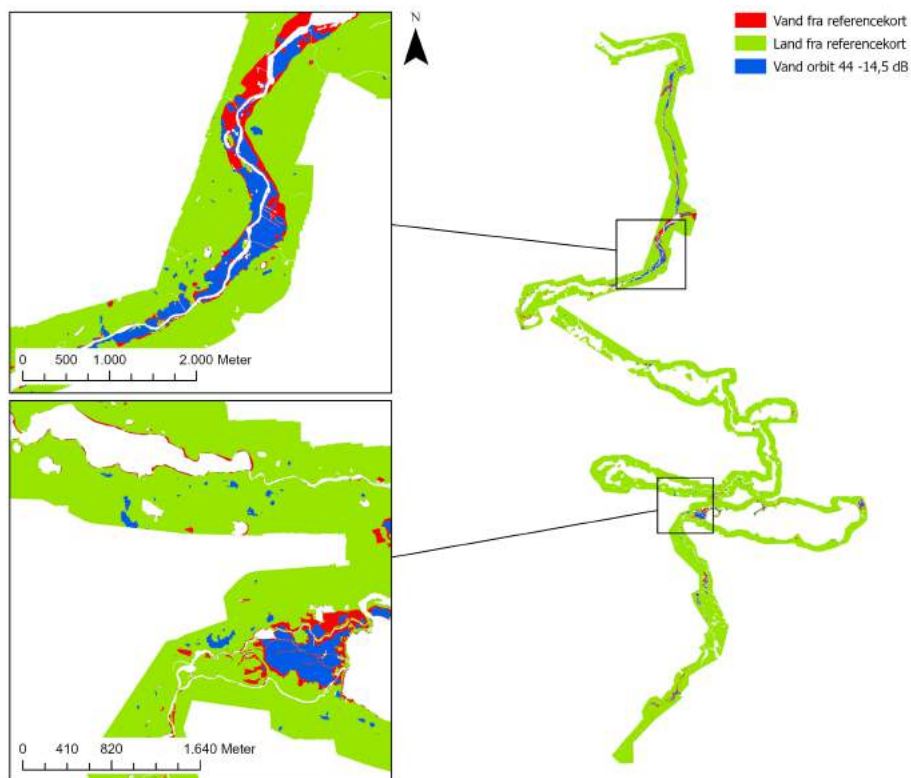
I dette appendiks findes de resterende oversvømmelseskort fra Threshold-konceptet, som ikke blev vist i analysen. Arealerne fra Overlapanalysen og nøjagtighederne fra Confusion Matrix for de estimerede oversvømmelser i de enkelte kort er givet i analysen.



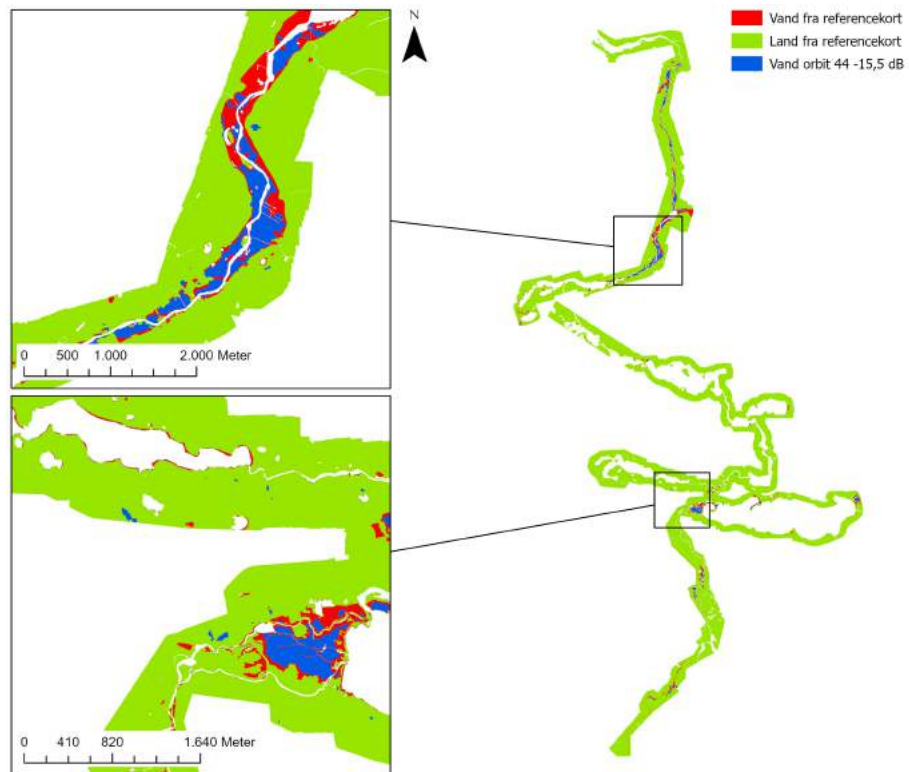
Figur E1. Oversvømmelseskort for grænseværdien -13,5 dB for orbit 44 fra Threshold-konceptet.



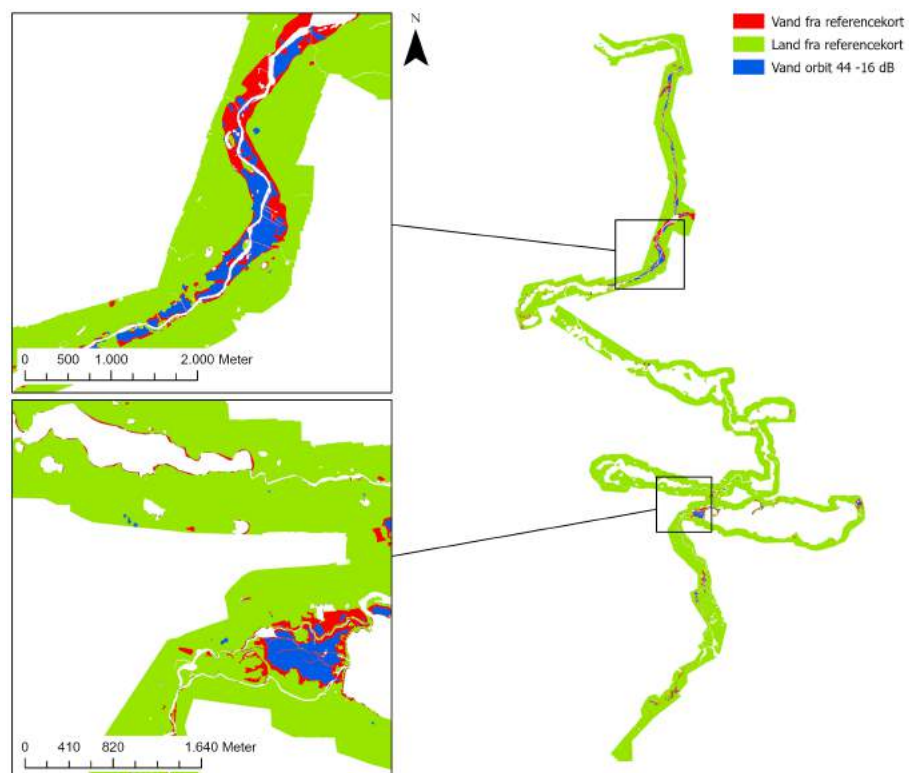
Figur E2. Oversvømmelseskort for grænseværdien -14 dB for orbit 44 fra Threshold-konceptet.



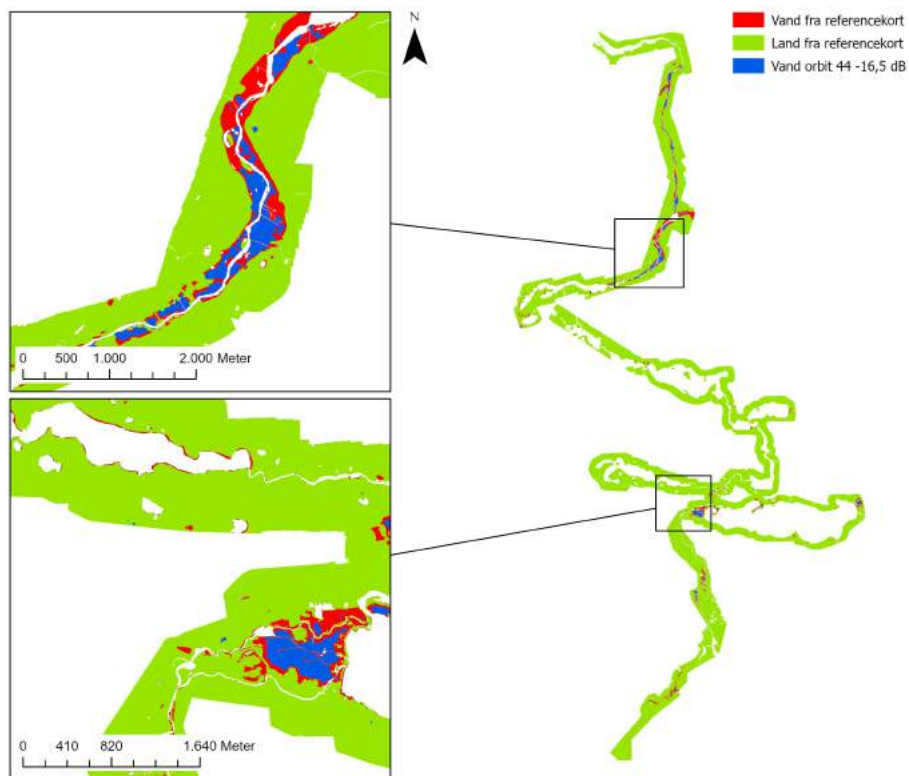
Figur E3. Oversvømmelseskort for grænseværdien -14,5 dB for orbit 44 fra Threshold-konceptet.



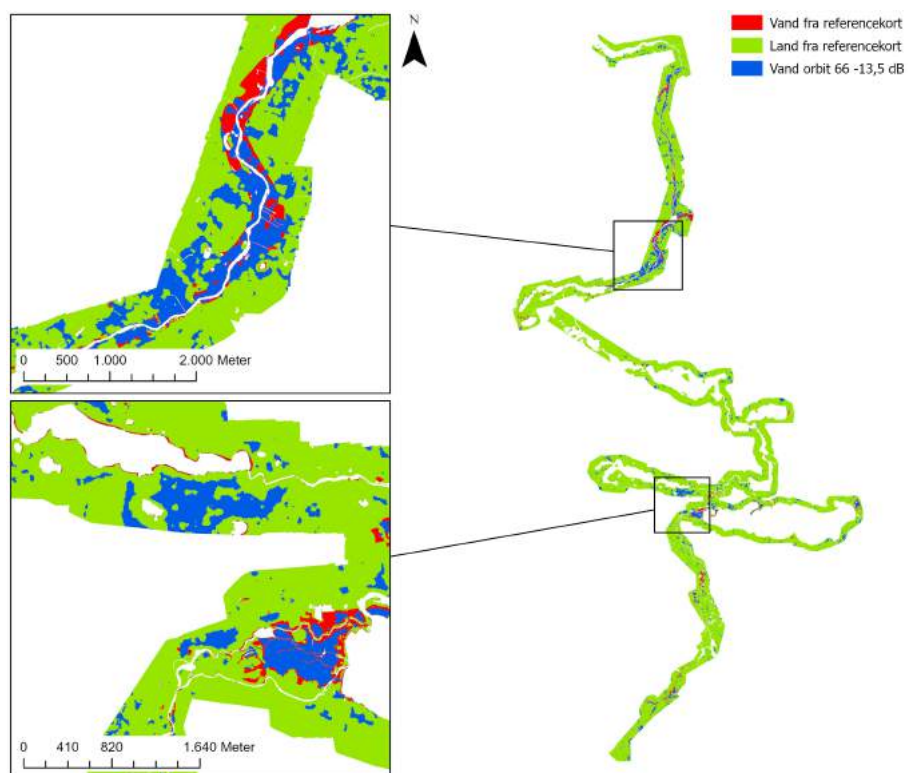
Figur E4. Oversvømmelseskort for grænseværdien -15,5 dB for orbit 44 fra Threshold-konceptet.



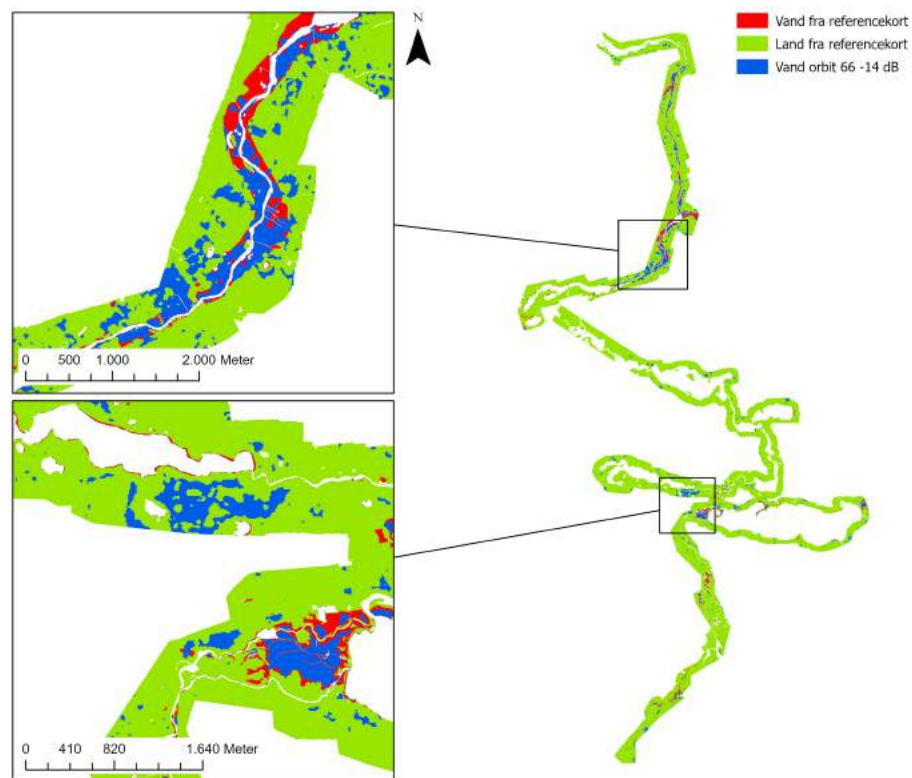
Figur E5. Oversvømmelseskort for grænseværdien -16 dB for orbit 44 fra Threshold-konceptet.



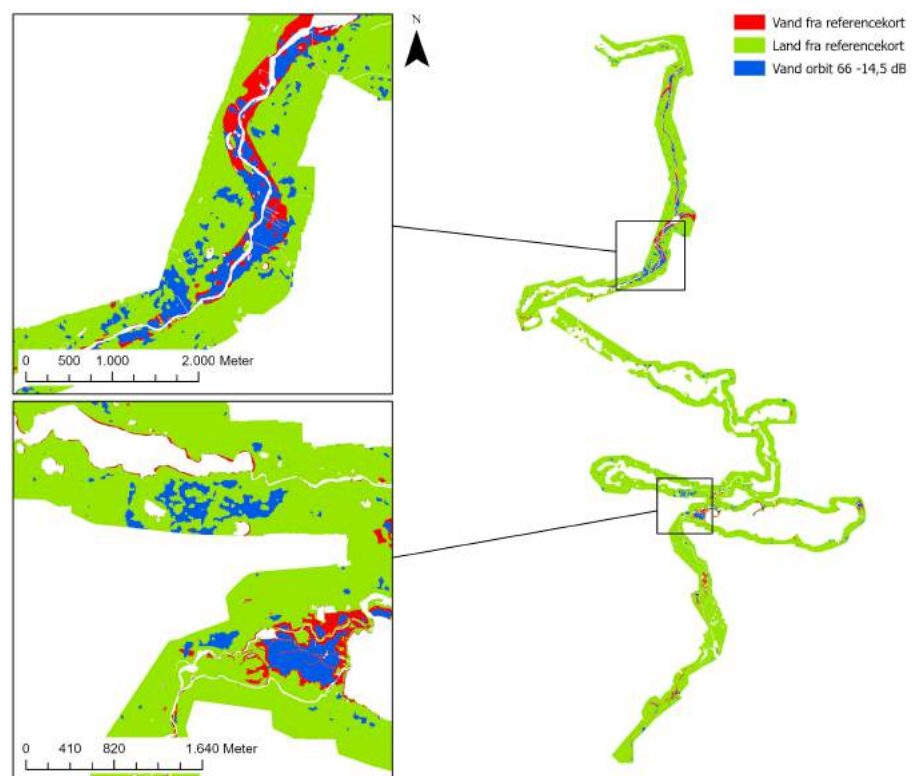
Figur E6. Oversvømmelseskort for grænseværdien -16,5 dB for orbit 44 fra Threshold-konceptet.



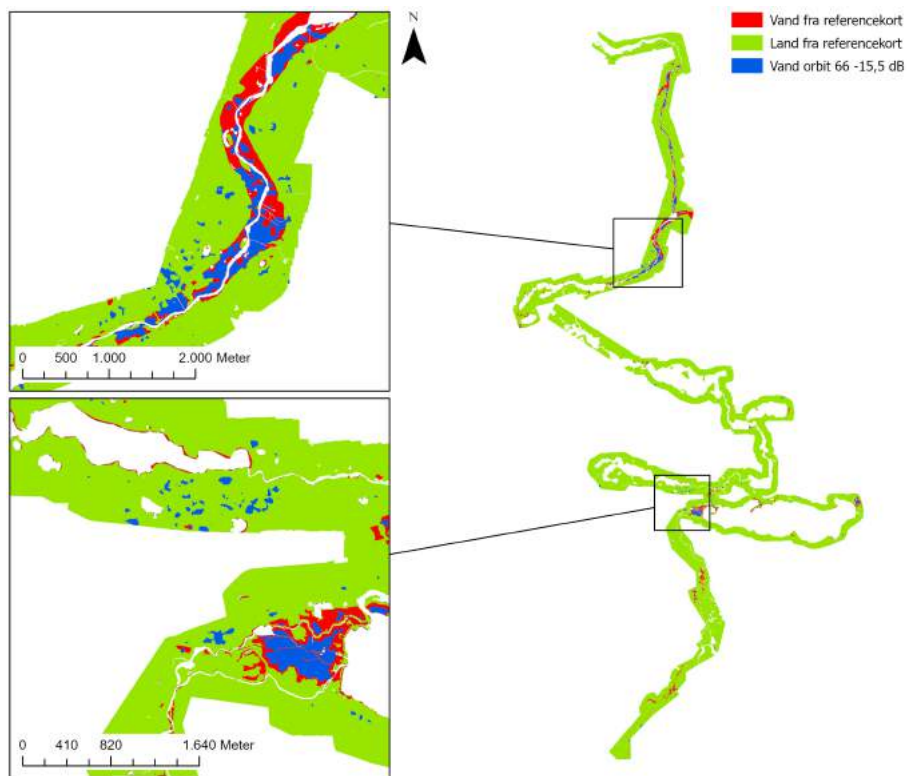
Figur E7. Oversvømmelseskort for grænseværdien -13,5 dB for orbit 66 fra Threshold-konceptet.



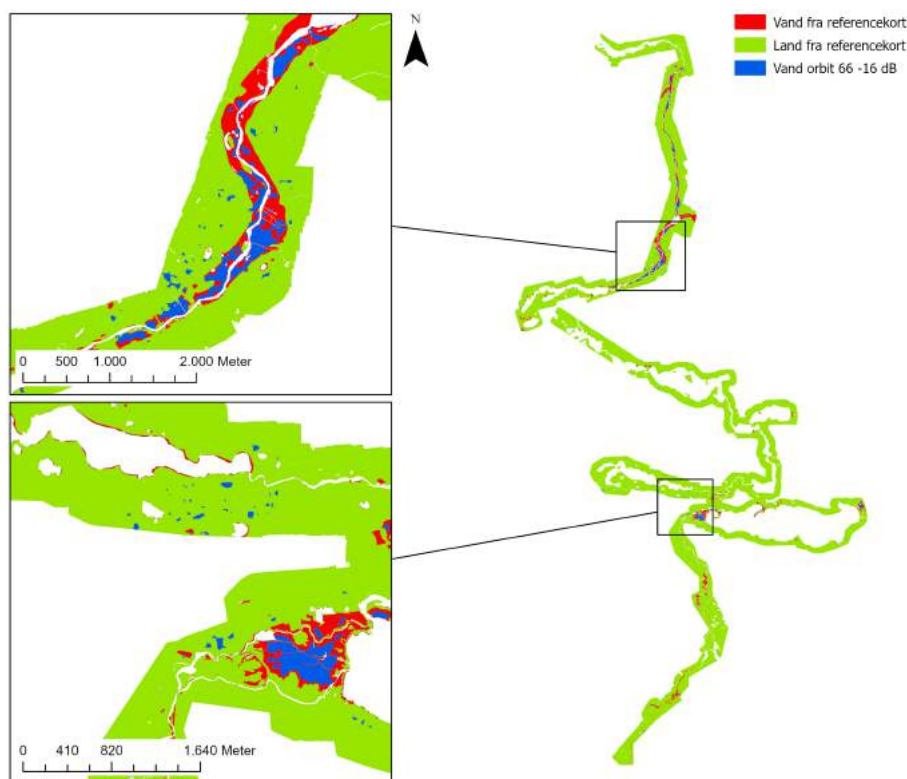
Figur E8. Oversvømmelseskort for grænseværdien -14 dB for orbit 66 fra Threshold-konceptet.



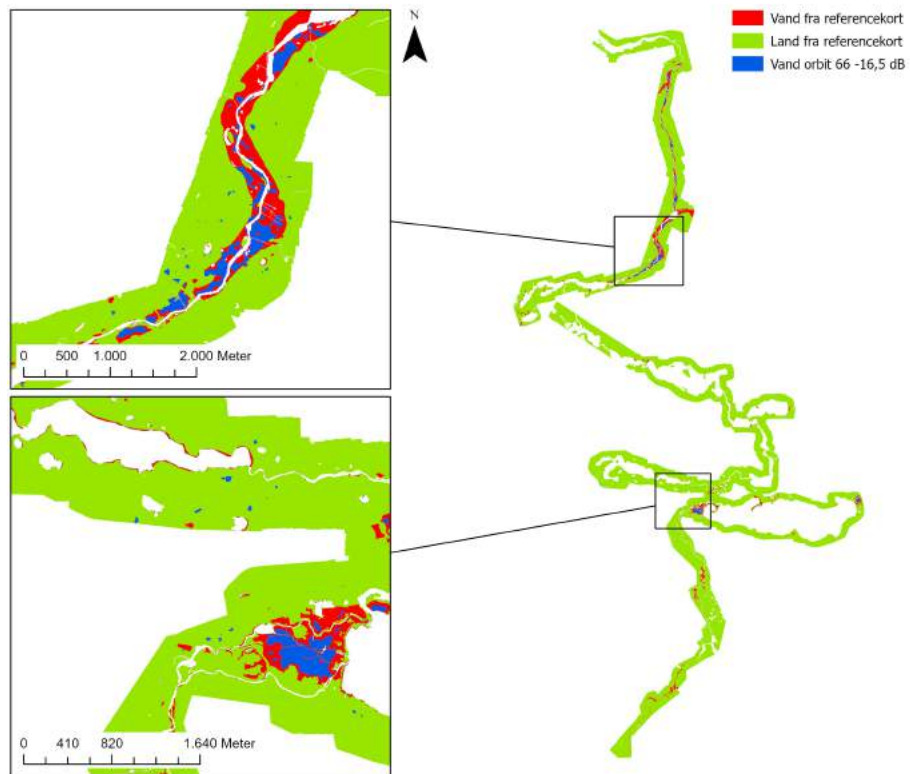
Figur E9. Oversvømmelseskort for grænseværdien -14,5 dB for orbit 66 fra Threshold-konceptet.



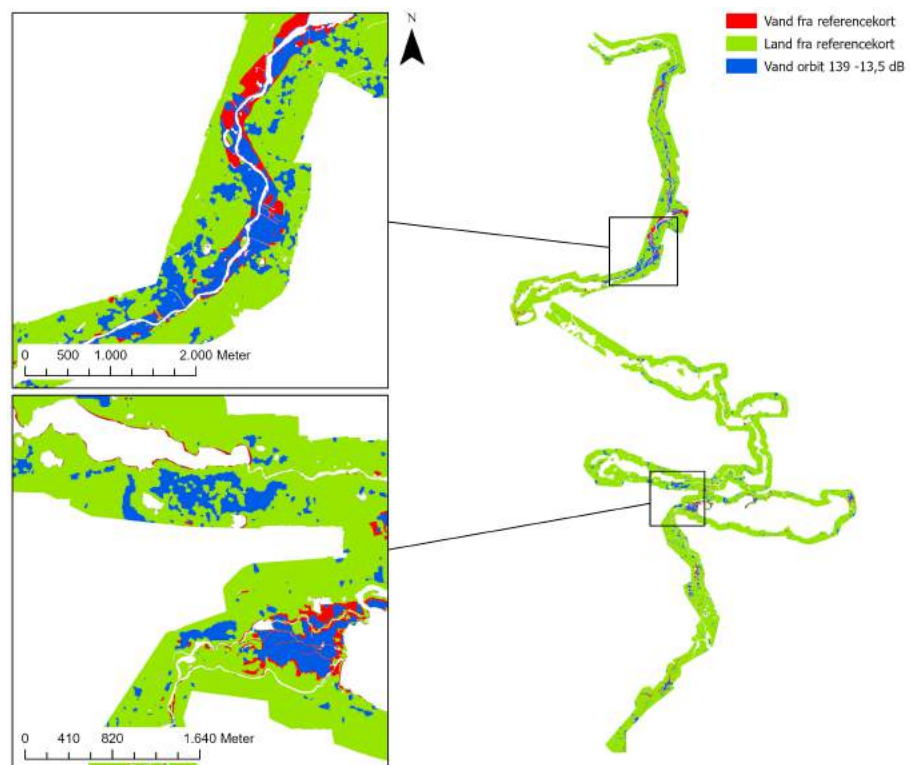
Figur E10. Oversvømmelseskort for grænseværdien -15,5 dB for orbit 66 fra Threshold-konceptet.



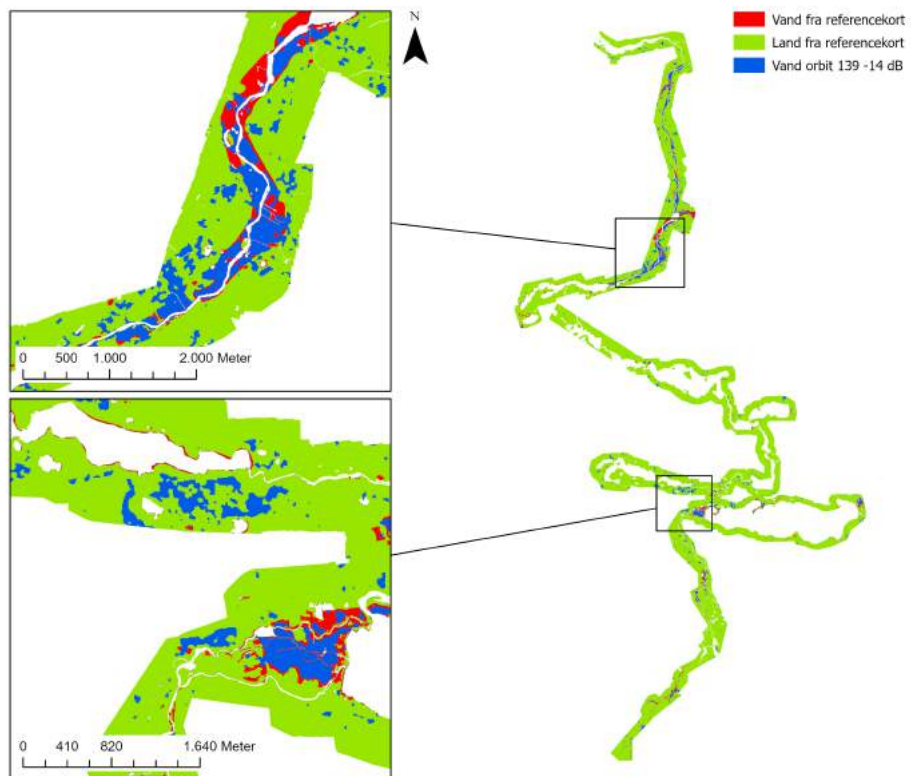
Figur E11. Oversvømmelseskort for grænseværdien -16 dB for orbit 66 fra Threshold-konceptet.



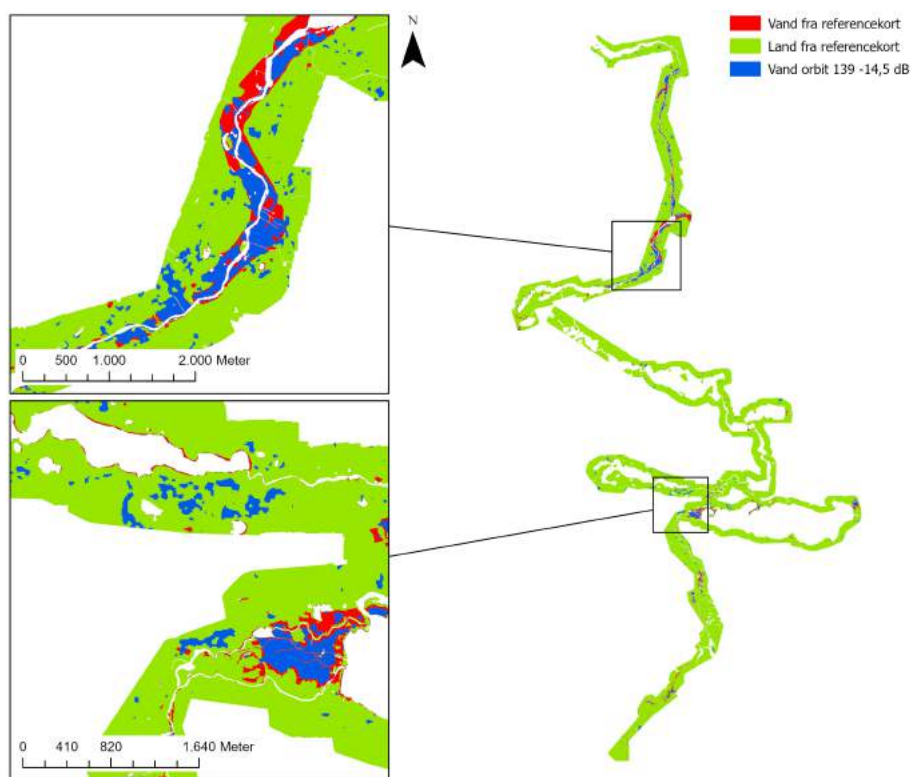
Figur E12. Oversvømmelseskort for grænseværdien -16,5 dB for orbit 66 fra Threshold-konceptet.



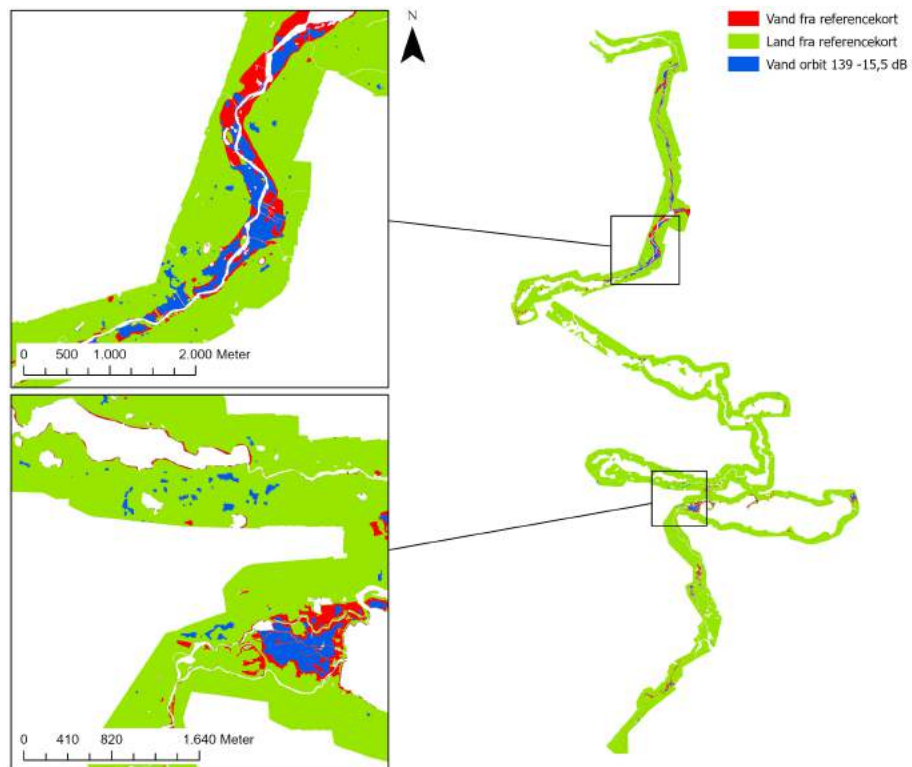
Figur E13. Oversvømmelseskort for grænseværdien -13,5 dB for orbit 139 fra Threshold-konceptet.



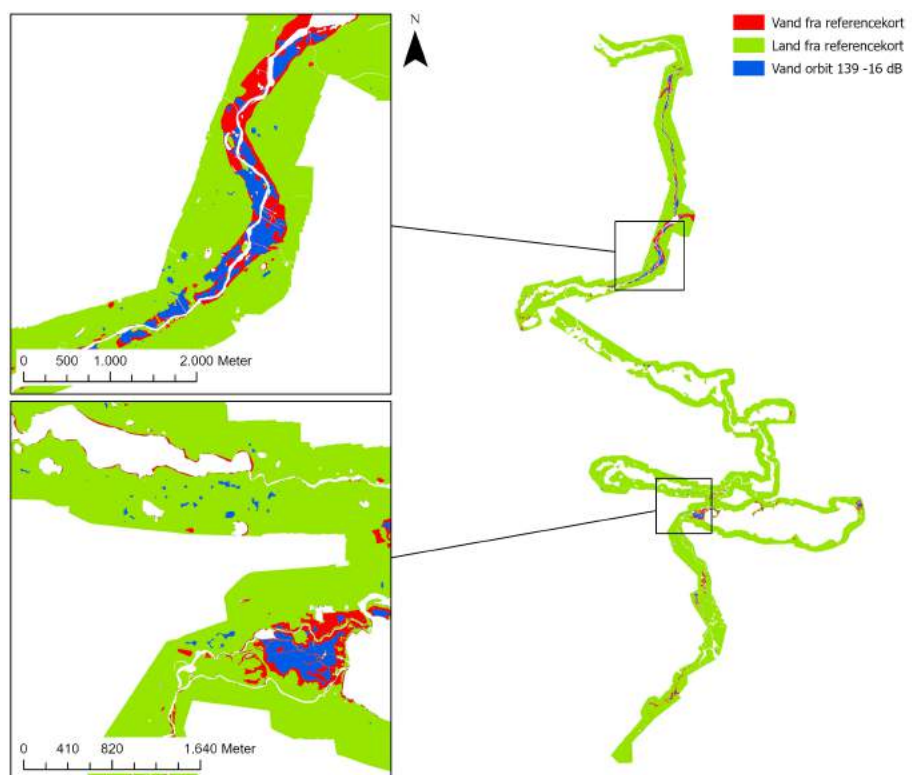
Figur E14. Oversvømmelseskort for grænseværdien -14 dB for orbit 139 fra Threshold-konceptet.



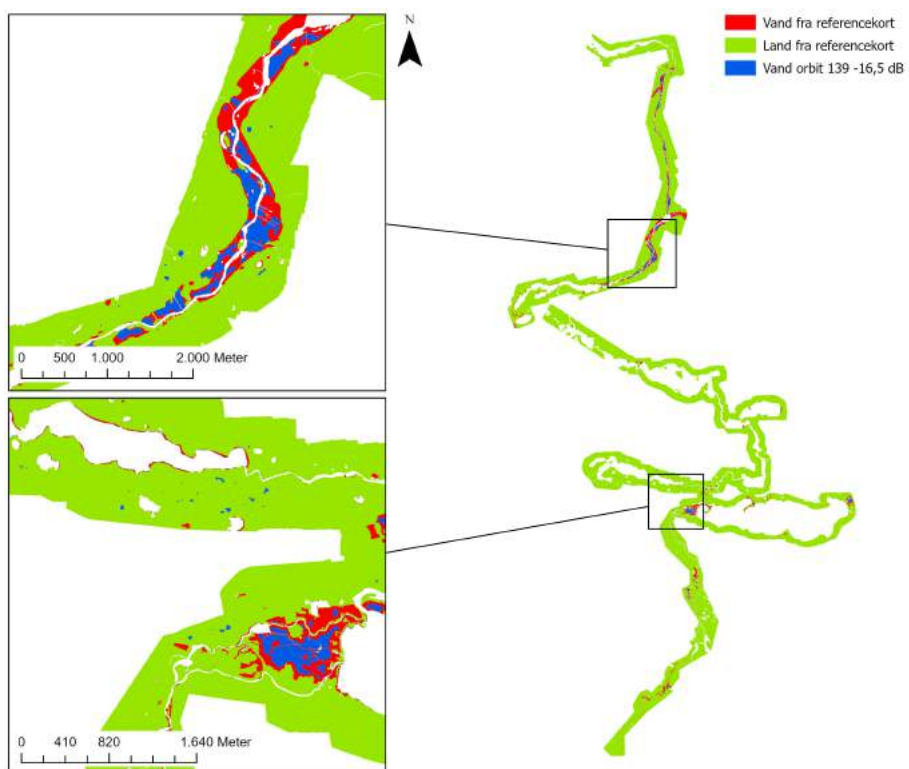
Figur E15. Oversvømmelseskort for grænseværdien -14,5 dB for orbit 139 fra Threshold-konceptet.



Figur E16. Oversvømmelseskort for grænseværdien -15,5 dB for orbit 139 fra Threshold-konceptet.



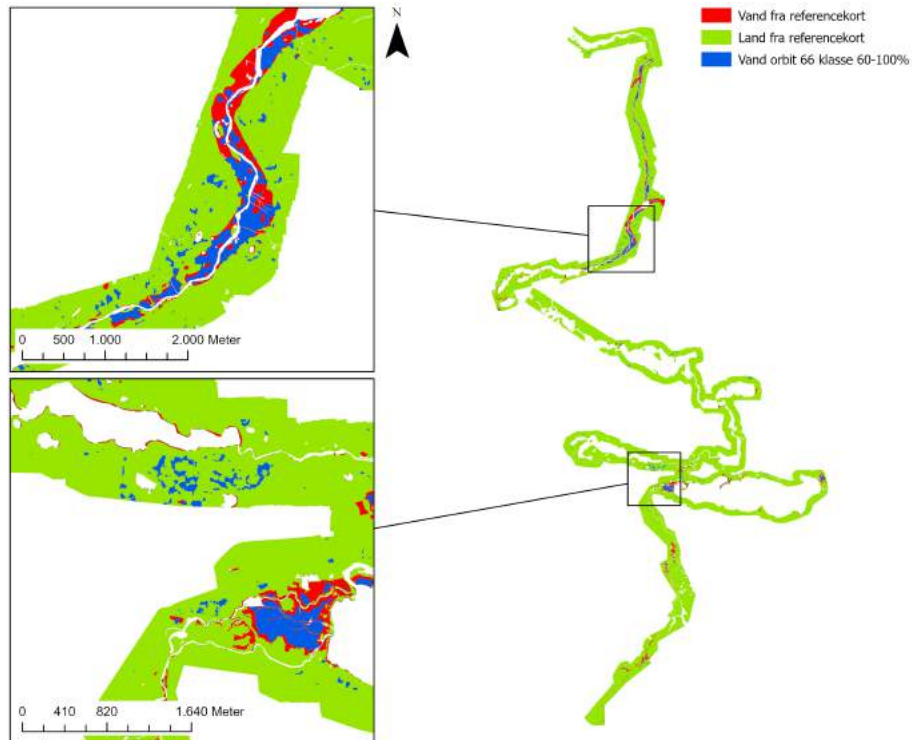
Figur E17. Oversvømmelseskort for grænseværdien -16 dB for orbit 139 fra Threshold-konceptet.



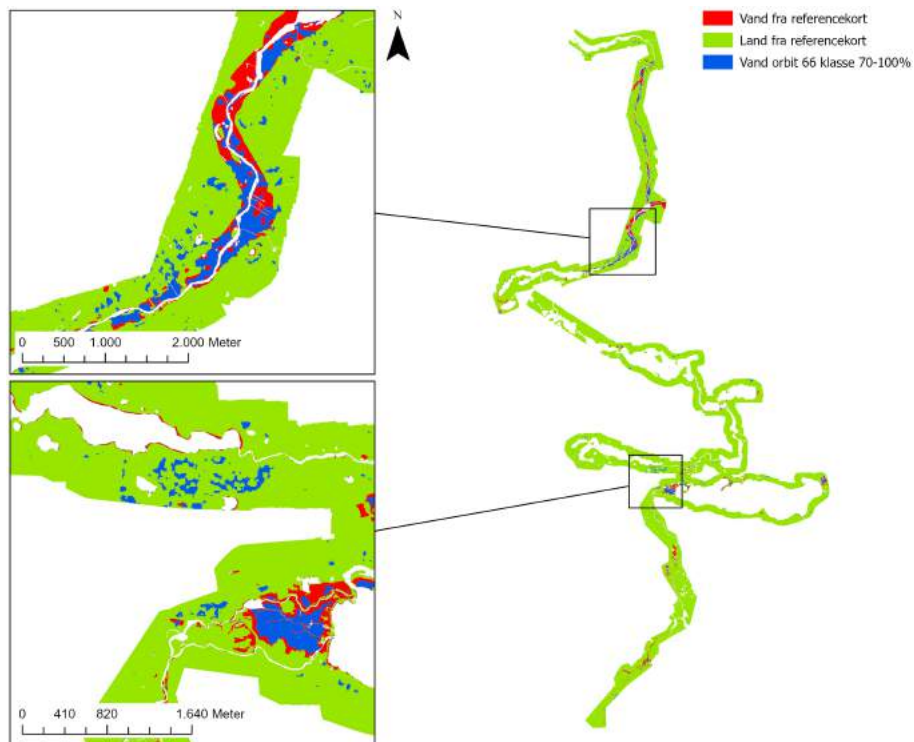
Figur E18. Oversvømmelseskort for grænseværdien -16,5 dB for orbit 139 fra Threshold-konceptet.

E2 Oversvømmelseskort fra Change Detection-konceptet

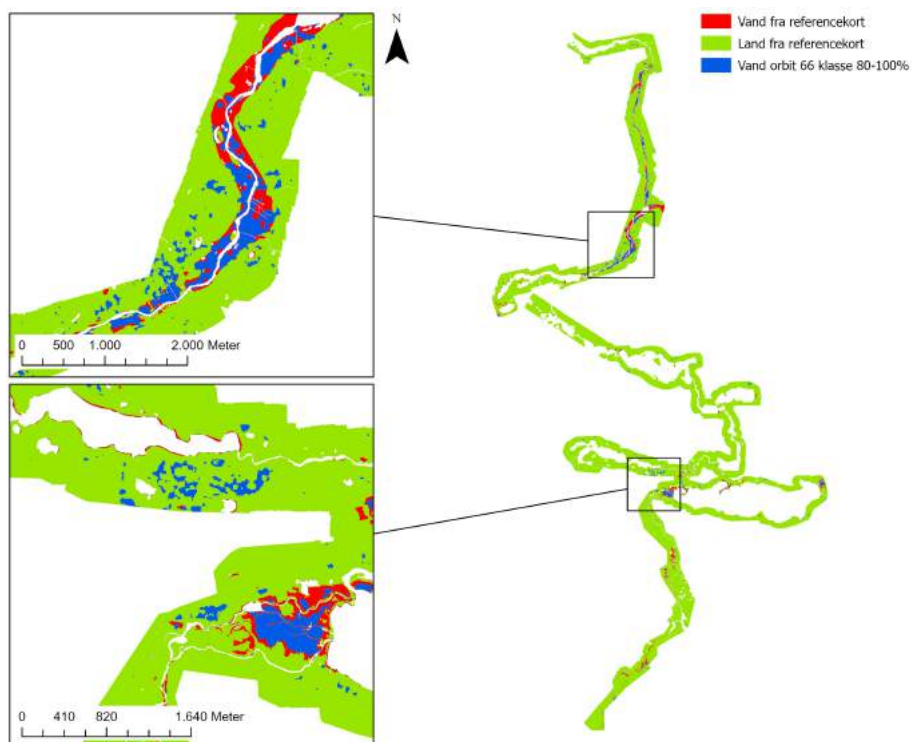
I dette appendiks findes de oversvømmelseskort fra Change Detection-konceptet, som ikke blev vist i analysen. Arealerne fra Overlapanalysen og nøjagtighederne fra Confusion Matrix for de estimerede oversvømmelser i de enkelte kort er givet i analysen.



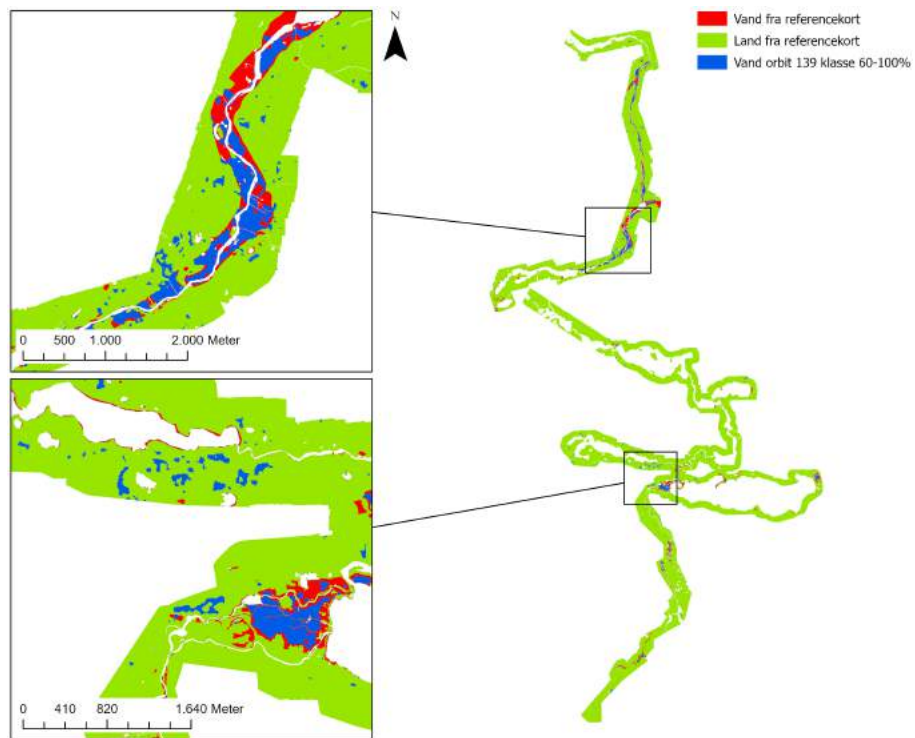
Figur E19. Oversvømmelseskort for klassen 60-100% for orbit 66 fra CDT-konceptet.



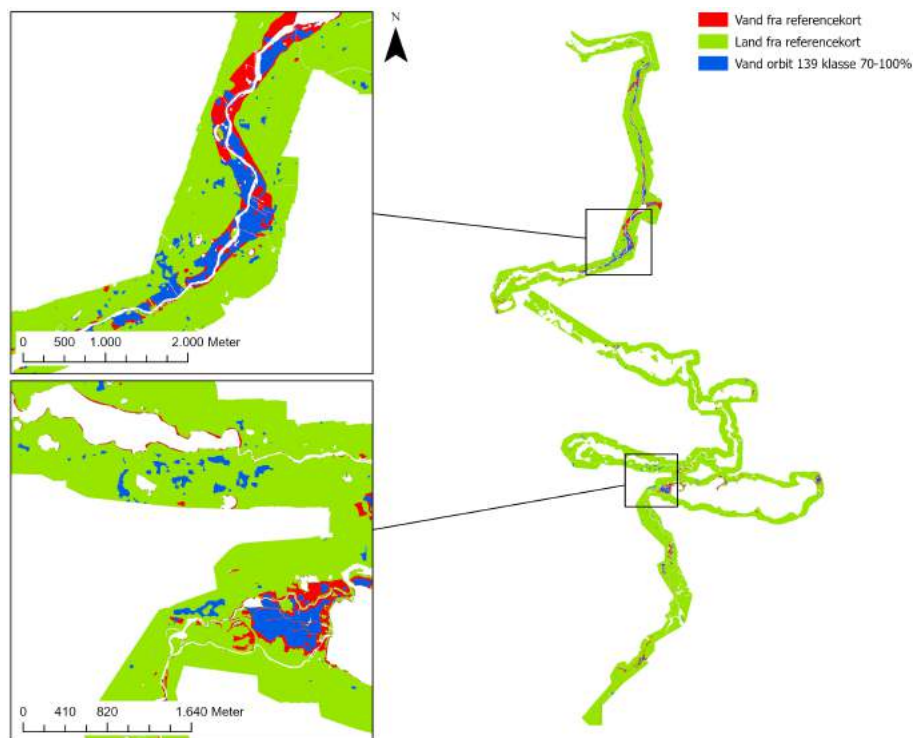
Figur E20. Oversvømmelseskort for klassen 70-100% for orbit 66 fra CDT-konceptet.



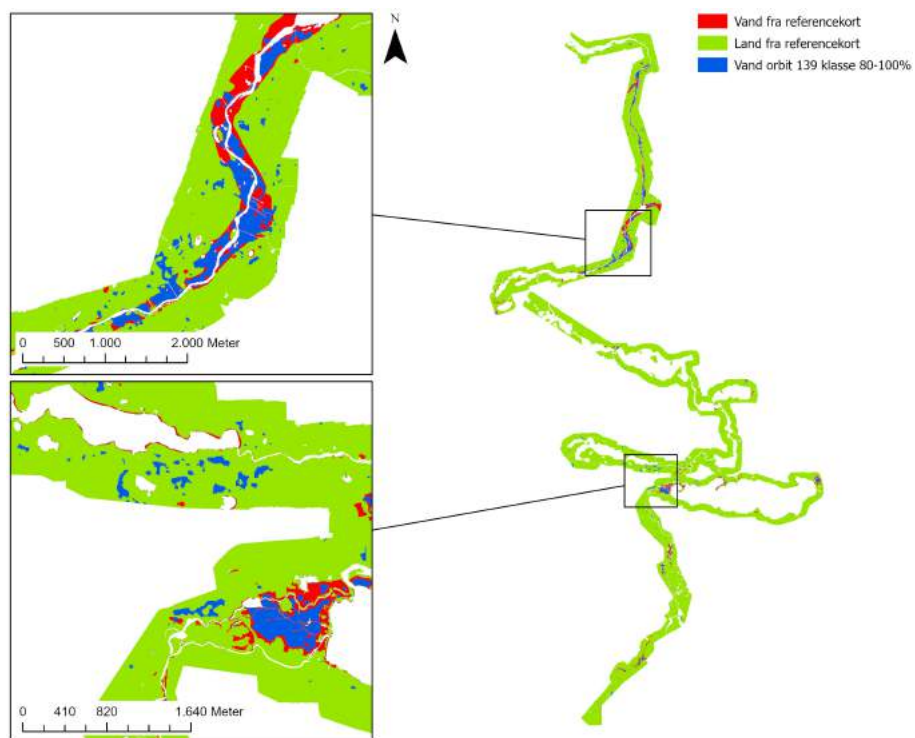
Figur E21. Oversvømmelseskort for klassen 80-100% for orbit 66 fra CDT-konceptet.



Figur E22. Oversvømmelseskort for klassen 60-100% for orbit 139 fra CDT-konceptet.



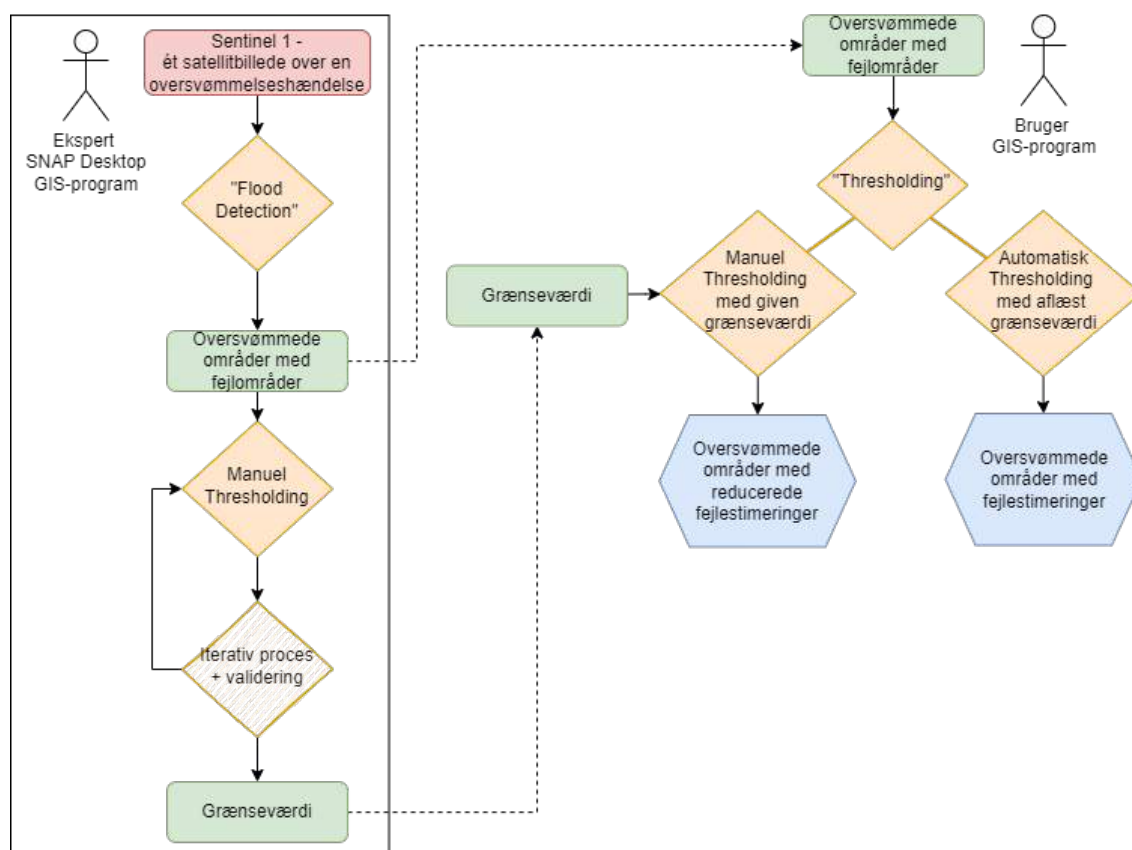
Figur E23. Oversvømmelseskort for klassen 70-100% for orbit 139 fra CDT-konceptet.



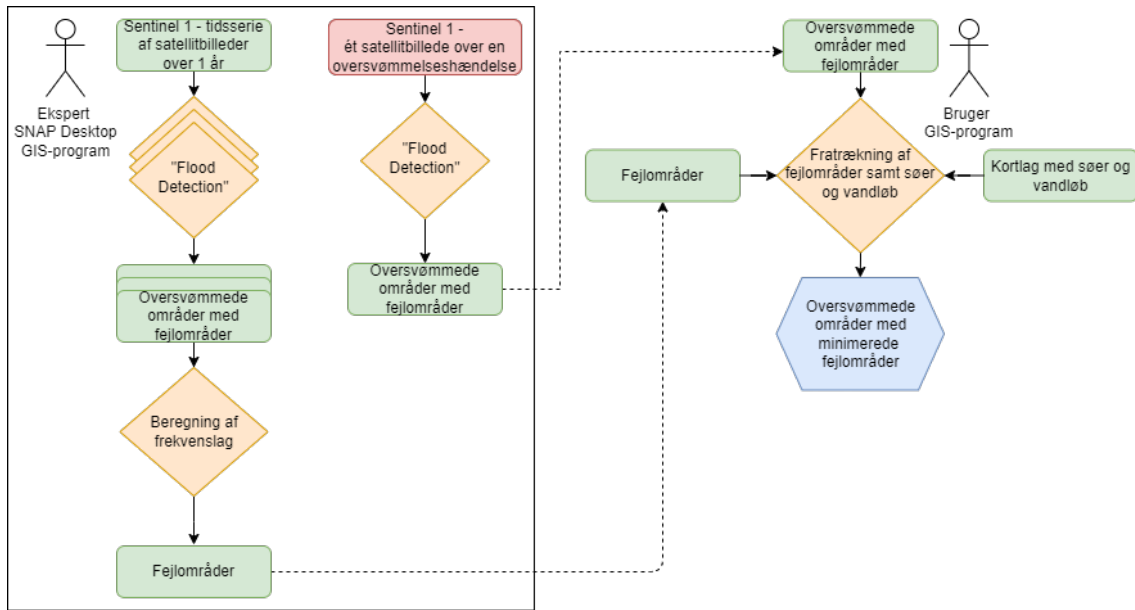
Figur E24. Oversvømmelseskort for klassen 80-100% for orbit 139 fra CDT-konceptet.

Appendiks F - Strukturdiagram med anden opdeling

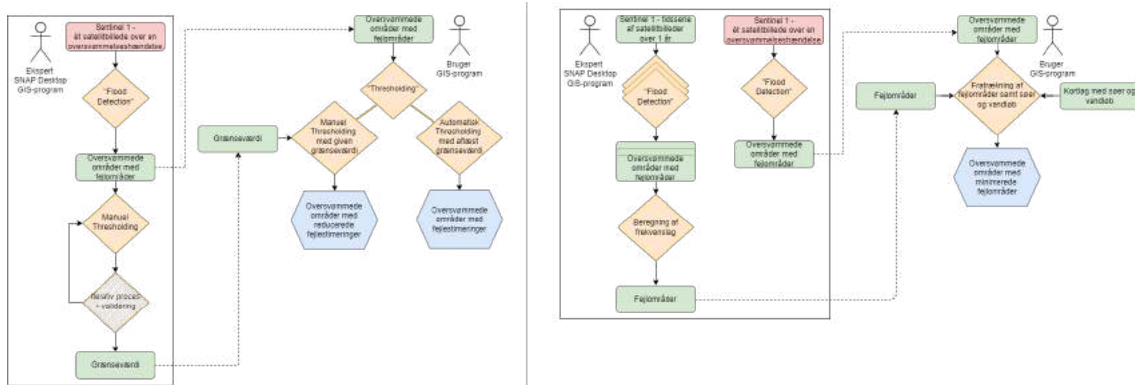
I dette appendiks ses en anden version af de to monitoreringskoncept-diagrammer. Her er de opdelt i en ekspertdel, der både laver oversvømmelseskort i SNAP Desktop samt det meste GIS-arbejde, mens brugeren har en lille erfaring med GIS, og derfor kun laver en lille del af processen.



Figur F1. Strukturdiagram for monitoreringskonceptet Thresholding opdelt i SNAP Desktop og GIS for eksperten og "let" GIS for brugeren. Størrelsesforskellen mellem samme type kasse har ingen betydning. Rød er inputdata for oversvømmelseshændelsen, gul er metoder, grøn er inputdata og blå er resultaterne. Rød er inputdata for oversvømmelseshændelsen, gul er metoder, grøn er inputdata og blå er resultaterne. Gul streg fra "Thresholding" til Manuel- og Automatisk Thresholding, indikerer, at de sidstnævnte er en del af "Thresholding" metoden.



Figur F2. Strukturdiagram for monitoreringskonceptet Change Detection opdelt i SNAP Desktop og GIS for eksperten og GIS "let" for brugeren. Størrelsesforskellen mellem samme type kasse har ingen betydning. Rød er inputdata for oversvømmelsehændelsen, gul er metoder, grøn er inputdata og blå er resultaterne.



Figur F3. Samlet strukturdiagram for monitoreringskoncepterne opdelt i SNAP Desktop og GIS for eksperten og "let" GIS for brugeren.