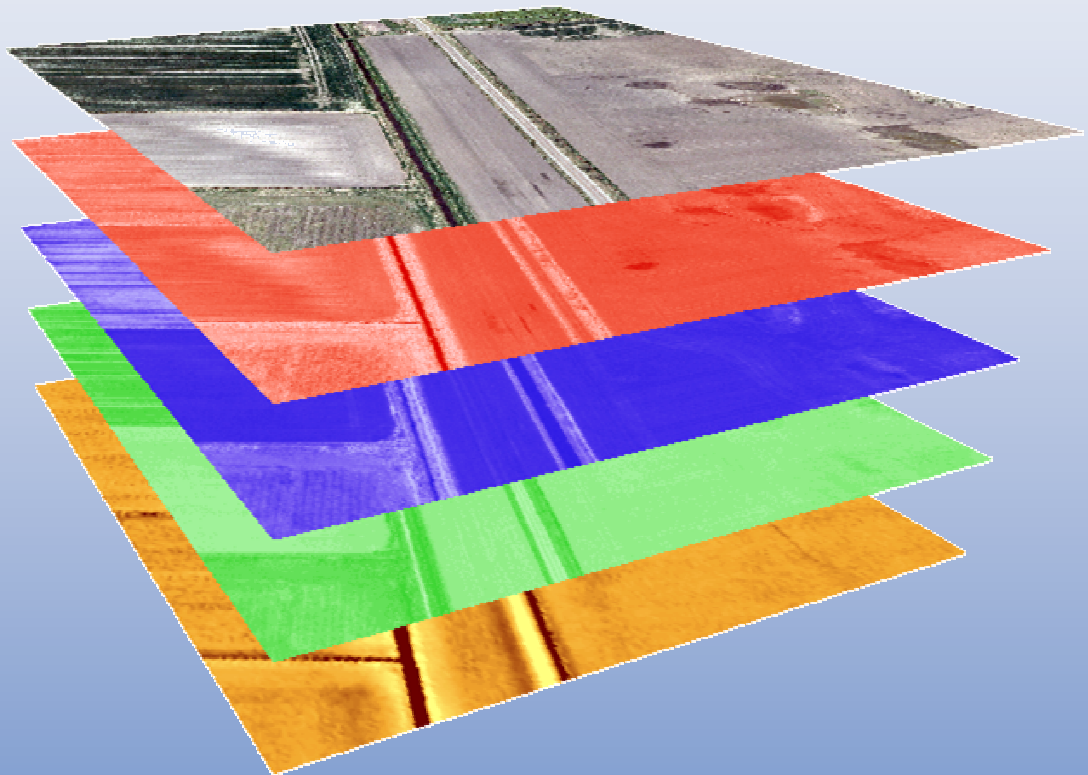


Automatisk Kortlægning af Vandløb



Aalborg Universitet
M. Sc. Surveying and Mapping
4. Semester 2013

Jakob Hjorth Hansen
Martin Hertz Sørensen
Mette Lund Jensen

Titel: Automatisk kortlægning af vandløb

Projektperiode:

Afgangsprojekt

(1. februar 2013 – 1. juli 2013)

Deltagere:

Jakob Hjorth Hansen

Martin Hertz Sørensen

Mette Lund Jensen

Vejledere:

Carsten Bech

Jens Juhl

Oplagstal: 6

Sidetal: 193 (inkl. 83 i appendiks)

Appendiks: 10 (Appendikshæfte + DVD)

Afsluttet den: 13. juni 2013

Rapportens indhold er frit tilgængeligt, men offentliggørelse (med kildehenvisning) må kun ske med forfatterens samtykke.

Synopsis

Denne rapport omhandler automatisk kortlægning af vandløb med udgangspunkt i klimaforandringerne og miljøforvaltningen. Rapporten har en helhedsorienteret tilgang til kortlægningen af vandløbene. Fire produkter genereres: Vandspejlskant, vandløbsmidte, kronekant og tværsnitsprofil.

Metoden anvender remote sensing data: multispektrale fotos og en digital terrænmodel. Et kombineret foto af det multispektrale foto, en relativ højde og båndberegninger med det nærinfrarøde bånd (NDVI og Band ratio) fremhæver vandløbet og dets geometriske udformning.

Vandspejlskanten og vandløbsmidten kortlægges ved at foretage image classification på det kombinerede foto, og benytte resultaterne til at afgrænse vandløbet. Tværsnitsprofilerne dannes vinkelret på vandløbsmidten og ved at interpolere profilpunkter i TIN-modellen genereret fra den digitale terrænmodel. Kronekanten kortlægges ved at vurdere højderelationerne i tværsnitsprofilerne.

Nøjagtigheden af produkterne overholder ikke de opstillede specifikationer, men der er dog stadig potentiale i kortlægningsmetoden. I rapporten opstilles mulige løsningsforslag til problemstillingerne, og det vurderes, at en bedre kvalitet af terrænmodellen kan forbedre resultaterne yderligere.

Abstract

This report addresses automated mapping of streams in the context of climate changes and environmental management. The report has a holistic approach to addressing the mapping of the streams. Four products are mapped: The water's edge line, the center of the stream, the shoulder break points and the cross section.

The method uses remote sensing data: multispectral images and a digital terrain model. The stream and its geometrical course is enhanced in a combined photo with the multispectral image, a relative terrain model and band ratios with the near infra red band (NDVI and blue/NIR).

The water's edge line and the center of the stream are mapped by image classification, and its result is used to outline the stream. The cross section is produced orthogonal on the center and by interpolation of the profile point in the TIN-model made of the digital terrain model. The shoulder break point is mapped by evaluating the height relation within the cross section.

The accuracy of the products exceeds the defined requirements, however the method does still hold potential for mapping. Possible solutions for handling problems are listed in the report, and an improved terrain model is regarded as a big step towards improving the results.

Forord

Denne rapport er en specialeaflevering på landinspektøruddannelsens kandidatretning: Surveying and Mapping. Rapporten er udarbejdet i perioden 1.februar 2013 - 13.juni 2013.

Kilder er gengivet ved Chicago-metoden og bagerst i rapporten findes en litteraturliste.

Igennem rapporten er en række engelske fagudtryk benyttet. Nogle af disse oversættes til dansk første gang de optræder og benævnes herefter på dansk.

Tilhørende rapporten er et appendikshæfte. Der er tilknyttet en separat litteraturliste til appendikshæftet. I appendikshæftet findes en ordliste, hvor udvalgte ord og fagudtryk er forklaret. Bagerst i appendikshæftet findes en DVD som indeholder yderligere appendiks.

Figurer er genereret i esri ArcGIS, hvis det ikke er en tegnet illustration eller et fotografi. Figurer er nordvendte og vist i UTM32 EUREF89.

Følgende software er benyttet igennem rapporten: ArcGIS, MATLAB, Word, Excel, paint.NET.

Kontroldataindsamling er foretaget med Leica AX1202 GG GNSS modtager i Real Time Kinematic Global Navigation Satellite System (RTK GNSS) ved brug af GPSnet.

I denne rapport er punktspredningen i E,N defineret ved: $\sigma_{EN} = \sqrt{\sigma_E^2 + \sigma_N^2}$

Stor tak til Dijana Ivanisevic og Poul Frederiksen fra Geodatastyrelsen for datasamarbejde. Yderligere skal Julie Borch Hansen fra NaturErhvervsstyrelsen have en stor tak for sparring om forvaltningen af randzonenloven. Slutteligt skal Søren Buch fra NIRAS og NIRAS have en stor tak for inspiration til kortlægning af kronekanterne.

Indholdsfortegnelse

1	Indledning	1
2	Udgangspunktet	2
2.1	Problemstillinger ved administrationen af randzonenloven	2
2.1.1	Randzonenloven	2
2.1.2	Definitionsmæssige uoverensstemmelser	2
2.1.3	Nøjagtighedsproblematikken	4
2.2	Veje mod en løsning	4
2.3	Initierende problemstilling	5
2.3.1	Definition af vandløb i rapport	5
2.3.2	Definition af helhedsorienteret løsning	6
2.3.3	Opsamling	6
3	Interessenter	7
4	Vandløbstema specifikationer	9
4.1	Vandløbets forløb	9
4.1.1	Form og definition af vandløbets forløb	9
4.1.2	Specifikationer ved vandløbsmidten	10
4.2	Vandløbets øverste kant	11
4.2.1	Form og definition af vandløbets øverste kant	11
4.2.2	Specifikationer ved kronekanten	11
4.3	Vandkapaciteten	12
4.3.1	Form og definition af vandkapaciteten	12
4.3.2	Specifikationer for tværsnitsprofilen	13
4.4	Vandløbets bredde	14
4.4.1	Form og definition af vandspejlskanten	14
4.4.2	Specifikationer ved vandspejlskanten	14
4.5	Attributkompatibelt	15
4.6	Opsamling	16
5	Data	17
5.1	Relevante dataindsamlingsmetoder	17
5.2	Relevante datatyper	17
6	Problemformulering	18
7	Principper for metode	19

7.1	Beskrivelse af Fase 1 - Dataindsamling.....	19
7.2	Beskrivelse af Fase 2 - Vandspejlskanten.....	20
7.2.1	Kombination af data.....	20
7.2.2	Kortlægning ved hjælp af Image Classification.....	20
7.3	Beskrivelse af Fase 3 - Vandløbsmidten.....	21
7.4	Beskrivelse af Fase 4 - Kronekanten.....	21
7.5	Beskrivelse af Fase 5 - Tværsnitsprofil.....	22
7.5.1	Metoder til kortlægning af skæringsprofiler.....	22
7.6	Beskrivelse af Fase 6 – Kvalitetskontrol.....	23
8	Valg af software.....	25
8.1	Kriterier for valg af software.....	25
8.2	Valgte software.....	25
9	Fase 1 - forberedelse af data.....	26
9.1	Testområde.....	26
9.2	Multispektrale billeder.....	27
9.3	Digital terrænmodel.....	28
9.4	Eksisterende vandløbsdata.....	29
9.5	Opsamling på Fase 1.....	30
10	Fase 2 – kortlægning af vandspejlskanten.....	31
10.1	Kombination af data.....	31
10.1.1	Båndberegninger.....	32
10.1.2	Højderelationer.....	34
10.1.3	Kombinere bånd.....	36
10.2	Definition af søgeområde.....	37
10.3	Image classification.....	40
10.3.1	Klasser og træningsområder.....	42
10.3.2	Resultat af klassifikation.....	43
10.4	Kvalitetsvurdering af image classification.....	43
10.5	Efterbehandling.....	44
10.5.1	Falske positive.....	46
10.5.2	Fragmenterede klassificerede forløb.....	46
10.5.3	Opsummering af håndtering af fejlklassifikation.....	47
10.6	Udarbejdelse af vandspejlskant.....	47
10.7	Resultat.....	49

11	Fase 3 - beregning af vandløbsmidten.....	51
11.1	Metodeforslag til beregning af vandløbsmidten	52
11.2	Kortlægning af vandløbsmidten ud fra fragmenter.....	54
11.3	Iteration.....	55
11.4	Resultat.....	56
12	Fase 4 – kortlægning af kronekanten.....	57
12.1	Skæringsprofil metoder	58
12.1.1	Valg af metode.....	59
12.1.2	Parametre for skæringsprofilerne.....	60
12.2	Metoder til kortlægning af kronekant	61
12.2.1	Valg af metode.....	61
12.2.2	Kronekantens grænseværdi	63
12.3	Resultat.....	63
12.3.1	Forslag til metode til at forbinde punkter med linjestykker	64
12.4	Opsamling.....	66
13	Fase 5 – kortlægning af skæringsprofiler	67
13.1	Metode til kortlægning af skæringsprofiler.....	67
13.2	Endelig udformning af skæringsprofilerne.....	68
13.3	Resultat.....	69
14	Fase 6 – kvalitetskontrol.....	71
14.1	Kontrolberegninger - fremgangsmåde.....	71
14.1.1	Kontrol af vandspejlskanter	72
14.1.2	Kontrol af vandløbsmidte	72
14.1.3	Kontrol af kronekanter.....	73
14.1.4	Kontrol af skæringsprofiler.....	73
14.2	Kontroldata.....	73
14.3	Vandspejlskant.....	75
14.3.1	Geometrisk nøjagtighed.....	75
14.3.2	Fuldstændighed.....	77
14.3.3	Opsamling.....	77
14.4	Vandløbsmidten	77
14.4.1	Fuldstændighed og tematisk nøjagtighed	77
14.5	Kronekanten.....	82
14.5.1	Grove fejl.....	84

14.5.2	Opsamling.....	87
14.6	Skæringsprofilet.....	88
14.6.1	Opsamling.....	91
15	Konklusion	93
15.1	Problemformulering	93
15.2	Forudsætninger / specifikationerne	93
15.3	Resultat.....	93
15.4	Opsamling.....	95
15.5	Metodens konkurrenceevne	95
15.6	Øvrige kommentarer	96
16	Perspektivering	97
16.1	Datagrundlaget	97
16.1.1	Modificere det eksisterende datagrundlag.....	97
16.1.2	Nyt datagrundlag.....	97
16.2	Alternativ benyttelse af metoder	98
17	Litteraturliste	99

1 Indledning

Drevet af eksempelvis klimaforandringer, miljøhensyn og forurening er vand blevet et af denne tids store temaer. Rent grundvand, der kan drikkes uden behandling er ved at blive en mangelvare. Disse hensyn medfører et øget behov for viden om vand for at kunne sikre mod oversvømmelser og administrere nye miljøkrav. Dette øgede behov for viden gælder både havene, men også vandløb og søer.

Denne rapport fokuserer på vandløb og i særdeleshed nytænkning af kortlægningen af disse.

Viden om vandløbs forløb og udformning har relevans for flere forskellige interessenter, offentlige og private, både ud fra lovgivningsmæssige forhold og ud fra behov for viden om de fysiske forhold. Dette kræver at data derfor er af en kvalitet, der kan tilfredsstille de forskellige interessenters behov.

Det eksisterende vandløbsdatasæt har vist sig utilstrækkeligt i forhold til at tilfredsstille nogle af disse behov, eksempelvis implementeringen af randzonenloven. Randzonenloven kræver at randzonen omkring vandløb holdes fri for dyrkning og til gengæld får landmanden en økonomisk kompensation for arealet (NaturErhvervstyrelsen, 2013). Det eksisterende datasæt for vandløb har her vist sig ikke at understøtte den nøjagtighed, man ønsker at administrere denne lovgivning med (Ritzau, 2012).

For at håndtere sådanne problemstillinger er det typisk enten nødvendigt med ny opmåling der lever op til de stillede krav, eller at nedjustere kravene og derved stille sig tilfreds med en ringere nøjagtighed og de administrative komplikationer dette kan medføre. Begge løsninger kan få økonomiske konsekvenser. Ny opmåling kræver naturligvis indsamling af nye data, og under alle omstændigheder arbejdstimer med at bearbejde data for at opnå de ønskede informationer. Accept af en lavere nøjagtighed kan betyde større fejl i beregningerne, hvilket kan betyde fejlbehandling af en kunde eller borger og videre til sagsanlæg og erstatningskrav. Der findes også en tredje løsningsmodel, der består i, at forsøge at udlede ny viden af eksisterende data.

Rapporten tager således udgangspunkt i problemstillingerne omkring datas kvalitet og valg af løsningsmetode, og vil have et teknisk perspektiv.

2 Udgangspunktet

I dette kapitel uddybes udgangspunktet for rapporten, med hensyn til problemstillingen mellem databehov og tilgængelige data, samt potentielle veje mod en løsning med denne. Det er vigtigt at der opnås en forståelse for problemstillingen inden den tekniske løsning udarbejdes, for at sikre brugbarheden af den udarbejdede løsning. Der er især fokus på definitionsproblemer imellem lov og data og kravene til deres nøjagtighed. Sidst i kapitlet beskrives det offentlige løsningsforslag og den initierende problemstilling formuleres.

2.1 Problemstillinger ved administrationen af randzonenloven

I forbindelse med administrationen af randzonenloven observeres flere forskelle imellem lovgivningen og det tilgængelige datagrundlag. Disse omfatter mangel på overensstemmelse af definitioner og nøjagtigheder generelt. Disse problemstillinger beskrives i det følgende.

Af hensyn til det generelle overblik, vil randzonenlovens indhold og konsekvenser først blive kort præsenteret.

2.1.1 Randzonenloven

Lov om randzoner har til formål at beskytte vandløbene mod forurening ved at forbyde dyrkning, sprøjtning m.m. i områder der grænser op til disse. Randzonen defineres som en 10 meter bred zone fra vandløbets øverste kant (jf. afsnit 4.2.1 og (Lov om randzoner, 2011)). For at kompensere landmændene for deres tab af jord, er en kompensationsordning blevet indført. (NaturErhvervstyrelsen, 2013)

Både overholdelsen af lov om randzoner og kompensationsordningen skal administreres. Dette gøres ud fra FOT (forkortelse af FællesOffentligT geografisk administrationsgrundlag), hvor vandløbstemaet er defineret. FOT vandløbsmidten bruges til at udpege de vandløb, hvor loven gælder. FOT kronekanten, eller vandløbets øverste kant, bruges til at beregne randzonens areal og udbredelse. (Borch Friderichsen, 2013)

2.1.2 Definitionsmæssige uoverensstemmelser

Der findes definitionsmæssige uoverensstemmelser imellem lovgivning og datagrundlaget og andet, hvilket skaber en række problemer i forbindelse med administrationen af loven.

Vandløb

Et af de mest grundlæggende problemer findes i det faktum, at der i Lov om randzoner ikke findes nogen definition af, hvad et vandløb er, hvilket besværliggør implementering af loven, da det ikke er klarlagt hvor den gælder.

Loven om randzoner specificerer, at der skal være tale om åbne vandløb:

§1 "For alle åbne vandløb i landzone..." (Lov om randzoner, 2011)

Hvorpå der fra Miljøministeriets hjemmeside, (Miljøministeriet, 2012), henvises til den kommenterede vandløbslov, hvori det beskrives at vandløb er:

"... forudsætter loven en terrænformation, der efter almindelig opfattelse kan kaldes >>et vandløb<<. Som minimum må man kræve en klart afgrænset terrænfordybning, som stadigt eller nogenlunde regelmæssigt er vandførende. De efter voldsomme regnskyl eller kraftigt tøbrud opståede skyllefurer opfylder ikke dette krav, og det samme gælder skelgrøfter, lavninger o. lign., som ikke regelmæssigt er vandfyldte..." (Tolstrup & Barfoed, 1975)

Disse definitioner af vandløb stemmer ikke overens med definitionen af vandløb i FOT, som eksempelvis NaturErhvervstyrelsen har valgt som grundlag for randzonerne:

Om objektdefinition af vandløbsmidte i FOT:

3.6.2.1 *"Midte af en naturlig eller gravet, åben eller rørlagt rende til vand."* (FOT specifikation, 4.1)

Definitionen af vandløb i (Tolstrup & Barfoed, 1975) efterlader desuden en række spørgsmål ubesvarede:

1. Hvad er *nogenlunde* regelmæssigt?
2. Hvad er vandførende?
3. Hvad er regelmæssigt?
4. Hvad er vandfyldte?

For at kunne gennemføre en entydig kortlægning af vandløb, er det nødvendigt at få afklaret ovenstående spørgsmål.

Vandløbets øverste kant

Ligesom definitionen af vandløb findes der også uoverensstemmelser mellem loven og FOT specifikationen ved vandløbets øverste kant, kaldet kronekanten i FOT. Dette er endnu et eksempel på problematikken imellem det politiske ønske og de tilgængelige data.

Selve placeringen af kronekanten er entydig i lovgivning og kortmaterialet, men de definitions-mæssige uoverensstemmelser opstår, hvor det fælles datagrundlag og loven angiver grænsen for randzonen i tilfælde af fraværet af en klart defineret kronekant.

Lov om randzoner:

§4 stk. 2 *"Hvor der ikke er en identificerbar øverste kant, beregnes randzonens bredde fra overgangen mellem bevoksning af vand- og sumpplanter og egentlige landplanter."* (Lov om randzoner, 2011)

FOT specifikation 4.1:

3.6.4.1 *"... Hvor der ikke er en kronekant, defineres sideafgrænsningen dér, hvor vandløbets vandspejl møder land."* (FOT specifikation, 4.1)

Loven definerer altså et biologisk kriterium for kronekantens placering i tilfælde af fravær af tydelige terrænkendetegn, mens FOT specifikationen definerer et tekniske kriterium, der muliggør kortlægning f.eks. ved remote sensing, og adskiller sig dermed fra lovgivningen.

Der kan dog spekuleres i, at denne uoverensstemmelse ikke er af en særlig væsentlig betydning, da de to grænser i praksis bør ligge meget tæt på hinanden. De to forskellige definitioner er imidlertid et eksempel på de uoverensstemmelser der findes mellem loven og det eksisterende administrationsgrundlag.

Den anden uoverensstemmelse imellem FOT specifikationerne og lovgivningen er dækningsgraden:

FOT specifikation 4.1:

3.6.4.1 *"VANDLØBSKANT findes for alle vandløb med en bredde $\geq 2,5$ meter."* (FOT specifikation, 4.1)

Kronekanten er altså ikke kortlagt for vandløb med en bredde på under 2,5 meter, selvom loven gælder på alle åbne vandløb, hvilket igen betyder at lovgivningen håndhæves ud fra et ufuldstændigt datagrundlag. De samme problemer opstår for vandløb i FOT, der ikke kortlægges hvis længden af disse er under 50 m (FOT specifikation, 4.1).

2.1.3 Nøjagtighedsproblematikken

I forbindelse med implementeringen af lov om randzoner, og den dertil knyttede kompensationsordning, har særligt et forhold ved administrationsgrundlaget vist sig problematisk og tiltrukket sig en del opmærksomhed i diverse medier. Det drejer sig om den fysiske udpegning af de vandløb, hvor loven gælder, hvor det har vist sig, at der er findes flere fejl. (Ritzau, 2012) Disse fejl knytter sig til den geometriske nøjagtighed, fuldstændigheden, den tematiske nøjagtighed og aktualiteten (se Kapitel 4 og ordforklaring i Appendiks H for forklaring).

Fejl i disse nøjagtigheder vil givetvis medføre fejl i udbetalingen af compensation til landmændene, da compensationen beregnes på baggrund af randzonernes areal, som ligger langs med de kortlagte vandløb. Endvidere har unøjagtigheder forårsaget stor forvirring og megen frustration over kortmaterialets kvalitet i landbruget, med dertilhørende opmærksomhed i pressen (Ritzau, 2012).

2.2 Veje mod en løsning

Der forekommer altså uoverensstemmelser mellem lovtæst og den tekniske kortlægning. For at håndtere en sådan problemstilling er der to parametre der kan justeres. Lovgivningens krav kan tilpasses til de eksisterende datas formåen eller der kan indhentes nye data der lever op til behovet. Dette er begge løsningsmuligheder som det offentlige er opmærksomme på, hvad der iagttages i Digitaliseringsstrategien 2011-2015 hvor det beskrives at:

"Mange af landets love er udarbejdet i en tid, hvor de digitale teknologier spillede en mindre rolle i den offentlige forvaltning. Når vi skruer op for de digitale ambitioner og breder teknologien ud til nye områder, opstår der uundgåeligt nye juridiske problemstillinger."

(Regeringen; KL; Regioner, Danske, 2011)

Desuden indeholder strategien følgende målsætning for 2015:

"Lovgivning skrevet til tidligere tiders analoge samfund står ikke i vejen for at bruge digitalisering til at skabe en mere effektiv offentlig sektor"

(Regeringen; KL; Regioner, Danske, 2011)

Disse hensigtserklæringer er ikke kun rettet imod geografiske data, men omfatter også samspillet imellem data og miljølovgivningen. Strategiens fokusområde "*Effektiv miljøforvaltning på et fælles grundlag*" – beskriver behovet for et godt samspil imellem lovgivning, administration og geografiske data (Regeringen; KL; Regioner, Danske, 2011). Selvom målsætningen fokuserer på at sikre at lovgivningen ikke er en hindring for effektiv administration, så kan det også udledes at velegnede digitale produkter er nødvendige for en effektiv offentlig sektor.

2.3 Initierende problemstilling

Som nævnt i indledningen er der tale om et teknisk projekt, og der fokuseres derfor på muligheden for at tilpasse data til lovgivningen.

Det har i sin natur en række indbyggede komplikationer, da der i lovgivningsprocessen næppe har indgået overvejelser vedrørende data eller dataindsamlingsmuligheder. En teknisk løsning vil altså under alle omstændigheder være hæmmet af lovgivningen. For at muliggøre en teknisk løsning er det derfor nødvendigt med en mere præcis definition af, hvad et vandløb er. Endvidere bør en teknisk løsning udarbejdes med et helhedsperspektiv (se afsnit 2.3.1) for at sikre, at løsningen lever op til brugernes krav.

Afslutningsvis sammenfattes den initierende problemstilling i afsnit 2.3.3.

2.3.1 Definition af vandløb i rapport

Denne definition formuleres med udgangspunkt i erfaringerne fra afsnit 2.1.2, da der som beskrevet, findes en række definitions-mæssige problematikker omkring, hvordan vandløb skal kortlægges og klassificeres i overensstemmelse med loven og eksisterende procedurer (FOT).

Af kortlægningshensyn er det nødvendigt med klare definitioner. Vandløbenes natur imidlertid er temmelig tvetydig og afhængig af, hvor meget regn der er faldet. Det er derfor nødvendigt med en definition, der enten definerer en klar grænse der sorterer tvivlsspørgsmål fra, eller definerer et kriterium, hvor tvivlsspørgsmålene tages med. Eksempelvis kan kravet være, at der skal være et 1 m bredt ubrudt vandspejl i hele forløbet, eller modsat at der blot skal være vand i vandløbets forløb.

Af de to muligheder, er den definition, hvor alt vandløbslignende medtages, den der minder mest om den nuværende definition. Den anden definition, hvor et tydeligt vandspejls kræves, vil medføre at rigtig mange vandløb ikke længere betragtes som vandløb.

I henhold til formålet med randzonenloven, om at udlægge 50.000ha jord som dyrkningsfri zone, vælges den definition, som minder mest om den nuværende. (NaturErhvervsstyrelsen, 2013)

Definitionen tager udgangspunkt i den eksisterende definition ved (Tolstrup & Barfoed, 1975) (se afsnit 2.1.2) samt overstående overvejelser angående kortlægningsmuligheder.

Rapport definition

Et åbent vandløb består af en klart afgrænset, vandfyldt og aflang terrænfordybning.

Med vandfyldt menes der, at der skal være synligt vand i vandløbets forløb på tidspunktet for dataindsamlingen.

Vandløb omfatter både åbne og rørlagte vandløb.

Det kan antages, at der kan opstå problemer, idet nogle vandløb muligvis ikke vil indeholde vand på dataindsamlingstidspunktet. Det vil derfor være op til vandløbsmyndigheden, at afgøre om en terrænfordybning er et vandløb eller ej i tvivlssituationer.

2.3.2 Definition af helhedsorienteret løsning

En helhedsorienteret løsning, defineres som en løsning der vil tilfredsstille alle brugernes behov. Metoden som udvikles, bør desuden kunne håndtere opdateringer, således at det ikke vil være nødvendigt at udarbejde en ny løsning, så snart datagrundlaget opdateres. Endvidere bør metoden kunne anvendes på en økonomisk realistisk vis. Metoden bør derfor kunne anvende eksisterende datasæt, en ny dataindsamling så kan undgås. En vis grad af automatisering vil være en nødvendighed, da en manuel kortlægning af vandløbstemaet for hele landet, må være en tidskrævende og dyr proces.

2.3.3 Opsamling

Opsummeret kan udgangspunktet altså sammenfattes til en initierende problemstilling:

Der er behov for en ny metode til en helhedsorienteret kortlægning af vandløb, der kan fungere automatisk, kan anvendes til løbende opdateringer, og som tilgodeser interessenternes behov.

For at besvare denne problemstilling vil det altså være nødvendig at undersøge, hvilke brugere der kan have interesse i et vandløbstema og hvilke egenskaber ved vandløb disse kunne ønske kortlagt. Brugere kaldes herefter interessenterne. Endvidere vil det være nødvendigt at undersøge hvilke datatyper der er til rådighed, og som kunne tænkes at kunne tænkes benyttet til en opdaterbar automatisk nykortlægning af vandløbstemaet.

3 Interessenter

Dette kapitel beskriver eksempler på interessenters behov i vandløbstemaet, som er uddybet i Appendiks A.

Interessenterne er inddelt i to hovedgrupper: offentlige og private. For de enkelte interessenter er deres specifikke behov beskrevet og er opstillet i Tabel 1.

	Interessent	Databehov
Offentlige	EU	...
	Staten	Forløb/placering, vandløbets øverste kant
	Regionerne	...
	Kommunerne	Forløb/placering, naturligt eller menneskeskabt vandløb, vandløbets øverste kant, vandkapacitet, § 3 beskyttet, offentligt- eller privatejet
Private	Landbruget	Vandløbets øverste kant, 2meter bræmmer, randzoner, § 3 udpeget, offentligt eller privat
	Dambrugene	§3 udpeget
	Rekreative brugere	Vandløbsbredde, strømningsretning, naturligt eller menneskeskabt vandløb, fiskerettigheder, vandkvalitet
	Rådgivende ingeniørvirksomheder	Vandløbstrace, forløb/placering vandkvalitet, biodiversitet

Tabel 1 - Interessenter og deres databehov.

Der er næppe tale om en komplet liste over mulige interessenter, men Appendiks A tjener til at beskrive de forskellige grupperinger der kan forekomme, og aspekterne af deres forskellige interesser og behov. Der forekommer en del overlap i behov, da de offentlige instanser ofte befinder sig overfor de private interessenter i samspillet af regulering og brug af de danske vandløb.

En del af behovene er meget emnespecifikke attributter. Disse vil være tidskrævende at identificere og implementere i en kortløsning, men for at sikre et helhedsorienteret vandløbstema må det som minimum kræves, at de kortlagte fysiske egenskaber er kompatible med attributter, således at interessenternes behov efterfølgende kan imødekommes.

Målsætningen for kortlægningen er, at tilgodese interessenternes behov. At tilgodese samtlige interessenter med et produkt vurderes dog til, at være for omfattende en opgave. Det skal i stedet forsøges, at tilgodese så mange interessenter som muligt. Fokus for produktet er derfor de fysiske forhold, som kan kortlægges og som kan anvendes som grundlag for videre benyttelse. De fysiske egenskaber er:

- Vandløbets forløb
- Vandløbets øverste kant
- Vandkapaciteten
- Vandløbets bredde

Interessenternes behov til data er meget varierende. For at kortlægge de opstillede fysiske egenskaber, er det nødvendigt at opstille specifikationer for udformningen og nøjagtighedskrav.

4 Vandløbstema specifikationer

I foregående kapitel er det beskrevet hvorledes de fire produkter: vandløbets forløb, vandløbets øverste kant, vandkapaciteten og vandløbets bredde er nødvendige egenskaber som et vandløbstema bør indeholde. Endvidere blev det fremhævet at et sådan tema bør være kompatibelt med attributter, for at gøre det muligt at tilknytte forskellige informationer til vandløbet. Kortlægges disse ved en automatisk proces, der kan operere på et opdaterbart datagrundlag, sikres en helhedsorienteret kortlægning af vandløbstemaet således jf. Kapitel 2.

For de enkelte egenskaber vil deres specifikationer blive beskrevet, først ved deres udformning og derefter ved kvalitetskravene til produktet. Ved kvalitetskravene vil følgende egenskaber blive beskrevet:

Geometrisk nøjagtighed	Den geometriske nøjagtighed er afvigelsen af de kortlagt objekter fra deres "sande" forløb i det horisontale plan.
Tematisk nøjagtighed	Den tematiske nøjagtighed omhandler hvorvidt et kortlagt vandløb også i virkeligheden er et vandløb og ikke en tør grøft eller lignende.
Fuldstændighed	Fuldstændigheden beskriver om alle vandløb er kortlagt.
Aktualitet	Aktualitet er ikke et decideret nøjagtighedskrav, men omhandler hvor gammelt produktet må være, før det betragtes som forældet og dermed skal opdateres.

Tabel 2 – Kvalitetsmål for vandløbstemaet.

I afsnittene om de forskellige produkters kvalitetskrav foretages først en diskussion i forhold til brugen af data, og herefter defineres kvalitetskravet. Slutteligt opstilles en tabel med de opsummerende specifikationer i kapitlet.

4.1 Vandløbets forløb

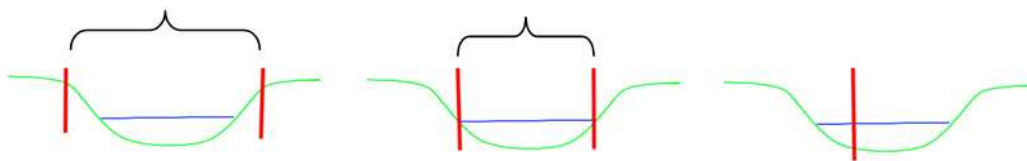
Vandløbets forløb er en nødvendig egenskab at kortlægge idet denne beskriver, hvor i landskabet der findes vandløb og hvilke vandløb, der er forbundne, jf. Appendiks A.

4.1.1 Form og definition af vandløbets forløb

Vandløbets forløb kan principielt have to dataformater som digitalt produkt: raster- eller vektorformat.

Begge formater kan beskrive vandløbets varierende bredde og forløb. Til denne rapport vælges det at beskrive vandløbets forløb ved en vektorbaseret vandløbsmidte. Dette har den klare fordel, at der til et linjestykke let kan tilknyttes og administreres attributter. Samtidig er den viden der findes om vandløbets bredde ikke gået tabt, idet vandspejlskanten kortlægges separat.

Vandløbsmidten kan defineres på flere måder som illustreret ved Figur 1.



Figur 1 - Illustration af forskellige definitioner af vandløbsmidten. Blå: vandspejlskant. Grøn: terræn.

Midt mellem kronekanterne har den ulempe at vandløbsmidten i praksis vil kunne placeres inde på land, hvis terrænskråningen er flad nok. Midt mellem vandspejlskant vil have den fordel, at midten altid vil placeres i vandspejlet. Dette er dog afhængigt af vandstanden på tidspunktet for kortlægning. En vandløbsmidte ved stærkeste strøm / dybeste sted kan være et meget naturligt udgangspunkt for vandløbsmidten, da den antageligvis ikke vil ændre sig som følge af vandstandsændringer. En sådan vandløbsmidte vil dog være særdeles tidskrævende at udarbejde, da det kræver manuel udpegning/opmåling ved alle vandløb.

Som udgangspunkt for at beskrive vandløbenes forløb vælges altså vandløbsmidten defineret som midt mellem vandspejlskanterne af hensyn til den praktiske kortlægning og den efterfølgende brug af data.

4.1.2 Specifikationer ved vandløbsmidten

Specifikationerne af kvalitetskravene er naturligvis knyttet til brugen af data og er derfor i høj grad defineret af interessenternes behov.

Geometrisk nøjagtighed

Den geometriske nøjagtighed af vandløbsmidten kan defineres som en pilhøjde fra den sande vandløbsmidte. Ved en pilhøjde forstås en absolut grænse for afvigelsen i det horisontale plan.

Da vandløbsmidten primært benyttes til visualisering af vandløbets forløb, bør vandløbsmidten ikke krydse vandspejlskanten, da det kan være generende for brugeren. Det vurderes derfor at en tilstrækkelig kvalitet i forhold til brugen af data opnås ved at have en pilhøjde på 1m, med den begrænsning at vandløbsmidten ikke overskider vandspejlskanten.

Tematisk nøjagtighed

Den tematiske nøjagtighed for vandløbsmidten er vigtig, da der til vandløbstemaet er tilknyttet lovgivning og restriktioner. Fejludpegninger af vandløb vil eksempelvis kunne forårsage, at der udlægges randzoner omkring tørre grøfter, småveje eller andre temaer, der ikke er omfattet af loven. Dette bør kunne korrigeres ved efterbehandling, hvis fejludpegningen identificeres. Hensigten er dog at skabe et komplet datagrundlag med en tematisk nøjagtighed på 100 %.

Fuldstændighed

Problemstillingen omkring fuldstændigheden er den samme som ved den tematiske nøjagtighed, men med omvendt fortegn. Fuldstændigheden påvirkes af vandløb der ikke er kortlagte. Målsætningen er en fuldstændighed på 100 %.

Aktualitet

For at sikre, at vandløbstemaet ikke forældes, vurderes det, at produktet bør opdateres med 3-5 års mellemrum. Dette vurderes på baggrund af, at naturlige ændringer i vandløbenes forløb ikke forekommer så hurtigt, og nygravede vandløb løbende registreres særskilt.

4.2 Vandløbets øverste kant

Vandløbets øverste kant er relevant i forbindelse med forvaltningen af lovgivning så som 2 m bræmmer og randzoner.

4.2.1 Form og definition af vandløbets øverste kant

Af hensyn til entydighed mellem data og lovgivning, bør data udarbejdes efter lovgivningens definition.

”§ 4. Bredden af den i § 1 nævnte randzone beregnes fra vandløbets eller søens øverste kant. Ved den øverste kant forstås overgangen fra det skrånende terræn mod vandløbet eller søen til det flade terræn, der normalt kan jordbearbejdes.

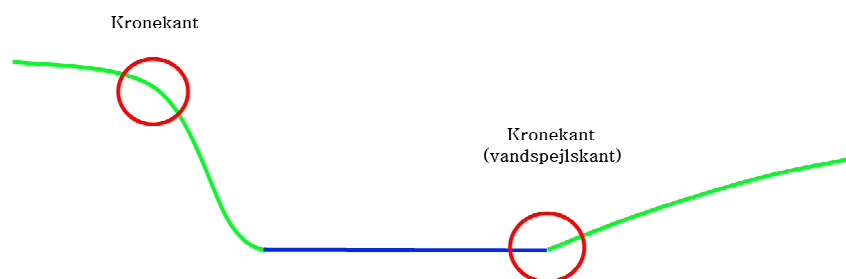
Stk. 2. Hvor der ikke er en identificerbar øverste kant, beregnes randzonens bredde fra overgangen mellem bevoksning af vand- og sumplanter og egentlige landplanter.”

(Lov om randzoner, 2011)

Denne overgang fra skrånende terræn mod vandret terræn kaldes også kronekanten (Miljøstyrelsen, 2008). Kronekantens produkt udformes som en linje i planet langs vandløbet.

Overgangen fra vand- og sumplanter til egentlige landplanter er af biologisk karakter, hvilket kan være vanskeligt at kortlægge. Derfor benyttes FOT's definitioner, hvor vandspejlskanten benyttes, hvis der ikke findes en kronekant (Jf. afsnit 2.1.2).

Figur 2 illustrerer definitionen af kronekanten og situationen, hvor kronekanten ikke findes.



Figur 2 - Illustration af definition af en veldefineret kronekant (venstre), eller placeringen af kronekant ved vandspejlskanten i tilfælde af manglende veldefineret kronekant (højre). Blå: vandspejlskant. Grøn: terræn.

4.2.2 Specifikationer ved kronekanten

Da kronekanten skal bruges til at administrere given lovgivning, skal kvaliteten naturligvis ses i forhold til administrationsbehovet.

Geometrisk nøjagtighed

Da kronekanten sjældent er en skarp grænse i marken, og udpegningen desuden kan vanskeliggøres af bevoksning vurderes det, at den ikke defineres bedre end med en spredning på 10 cm. Yderligere må kronekanten ses i forhold til dens formål med at definere en dyrkningsgrænse 10 m borte. Landmanden skal her afgøre om den 10 m brede randzone nu også er ortogonal på vandløbet, hvilket i sig selv kan være svært at vurdere. Landbrugsmaskiner vil under alle omstændigheder ikke kunne følge en grænse defineret af kronekanten, da der eksempelvis pløjes i rette linjer.

En forskydning af kronekanten vil i et erstatningsøjemed ikke betyde meget, da 10 m gange længden af kronekanten ikke ændrer sig, hvis længden af kronekanten ikke ændrer sig.

Til kontrollformål vil en forskydning af kronekanten være et irritationsmoment for kontrolløren, hvis denne observerer forholdene i ortofoto. Kontrolløren vil selv skulle afgøre, om det landmanden har dyrket inden for randzonen, virker rimeligt i forhold til en forskudt kronekant. Dette kan føre til fejlagtige afgørelser, eller en øget arbejdsbyrde ved kontrol i marken.

Ligesom med vandløbsmidten skal en pilhøjde også bestemmes for at definere kravet til den geometriske nøjagtighed. En pilhøjde på 2 m i det horisontale plan vælges da udsving under denne størrelse under alle omstændigheder antages at være for små til at landmanden kan, eller vil, følge dem præcist.

Tematisk nøjagtighed

Den tematiske nøjagtighed af kronekanten afhænger direkte af den tematiske nøjagtighed for vandløbets forløb. Hvis der ikke er lokaliseret et vandløb, er det heller ikke nødvendigt at kortlægge kronekanten, da randzonenloven gælder for alle vandløb. Overordnet forventes den tematiske nøjagtighed at være 100 %.

Fuldstændighed

Der skal findes kronekanter for alle kortlagte vandløb da loven gælder for alle vandløb uanset størrelse, men at randzonerne kun har betydning i forhold til landbrugsdrift.

Aktualitet

Kronekanten flytter sig nødvendigvis ikke med samme hastighed som vandløbene, men kan omvendt flytte sig hurtigt, hvis bredden kollapser. Udbetalingen af erstatninger for randzonerne er baseret på årlig en udbetaling, og en årlig opdatering er derfor at foretrække. Det kan dog antages at tilbagemeldinger fra landmændene vil være tilstrækkelig til at holde temaet aktuelt, indtil nye data er til rådighed.

4.3 Vandkapaciteten

Vandkapaciteten har relevans i forhold til blandt andet vandløbsregulativerne og beredskab (se Appendiks A).

4.3.1 Form og definition af vandkapaciteten

Da vandløbsregulativerne anvender tværsnitsprofiler til at vurdere vandkapaciteten, benyttes denne definition også her. Tværsnitsprofilen bør afgrænses af kronekanten, da denne repræsenterer

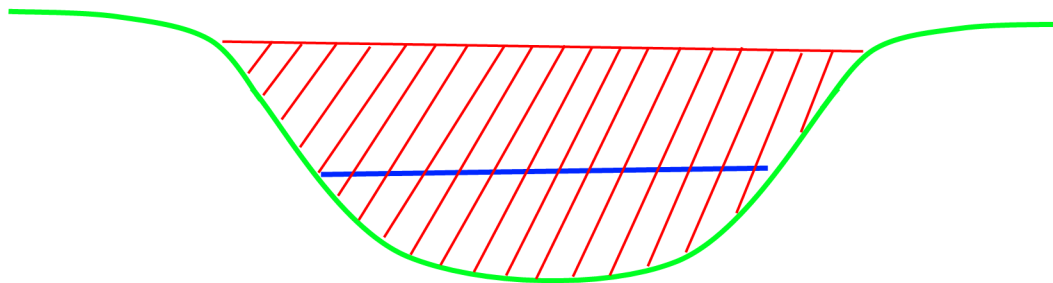
vandløbets yderste kant; passerer vandet kronekanten, vil det oversvømme de omkringliggende arealer. Imellem kronekanterne, bør knæpunkter i terrænet inkluderes for at tværsnitsprofilen giver et repræsentativt billede af forholdene i marken.

4.3.2 Specifikationer for tværsnitsprofilen

Behovet for tætheden af tværsnitsprofiler er i (Skov & Naturstyrelsen, 2007) angivet som for hver 50 meter for vandløb med varierende profiler, og for hver 100-150 meter for vandløb med ikke varierende profiler.

Geometrisk nøjagtighed

Selvom interessen i forhold til tværsnitsprofilerne er vandkapacitet, som burde vurderes i forhold til rumfanget, er produktet en tværsnitsprofil, der kun kan bedømmes todimensionel. Dermed kommer vandkapacitet til udtryk i tværsnitsprofilets areal, som illustreret ved Figur 3.



Figur 3 - Illustration af definition ved geometrisk nøjagtighed af tværsnitsprofil. Blå: vandspejlskant. Grøn: terræn.

Kravet til den geometriske nøjagtighed må fastlægges ud fra brugen af data, som er relateret til vandkapaciteten. Mængden af vand som kan, eller ikke kan, passere igennem vandløbet, vil altså være afhængig af arealet. Den geometriske nøjagtighed anses som værende en relativ størrelse, hvor betydningen af den mængde vand, der kan strømme igennem et vis areal, afhænger af vandløbets størrelse. En arealforskel på 1 m² vil have en større betydning for et lille vandløb, i forhold til et stort vandløb. Derfor må den geometriske nøjagtighed betragtes ud fra en procentvis afvigelse.

Der forefindes ingen information omkring nøjagtighedskrav for disse forhold, hvorfor de givne parametre må defineres ud fra et skøn. I forhold til at det kan accepteres med tværsnitsprofiler pr. 50 meter for vandløb med varierende tværsnitsprofiler skønnes det, at en maksimal arealafvigelse på 10 % som værende tilstrækkeligt.

Tematisk nøjagtighed

Har ingen relevans i forhold til at generere tværsnitsprofiler, da tværsnitsprofilerne er tilknyttet vandløbsmidten, og derfor må følge de samme præmisser som denne, altså 100 %.

Fuldstændighed

Der skal findes tværsnitsprofiler for alle kortlagte vandløb, da viden om det komplette netværk af vandløb og dets kapacitet er nødvendigt for eksempelvis oversvømmelses beregning.

Aktualitet

På trods af ændringer over tid i vandløbets forløb m.m. må disse ændringer antages at have en ringe betydning for en samlet volumen for et længere vandløb. Kun ved opretning eller genopretning af åer vil der ske store udsving for volumen. Da vandløbets forløb ændres kontinuert, men med markante ændringer på 3-5 år, skønnes det at vandkapaciteten følger samme princip.

4.4 Vandløbets bredde

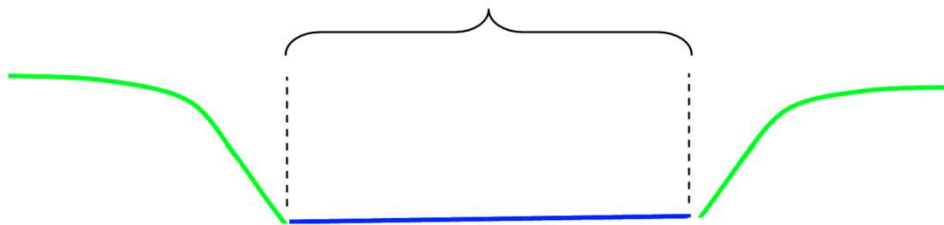
Vandløbets bredde er interessant i rekreativt perspektiv i og med, man således vil kunne afgøre, om det kan lade sig gøre at fx sejle i eller fiske i vandløbet, som beskrevet i Appendiks A.

4.4.1 Form og definition af vandspejlskanten

Vandløbets bredde kan kortlægges som enten fra kronekant til kronekant eller fra vandspejlskant til vandspejlskant. Alternativt kan bredden tillægges vandløbsmidten som en attribut.

Attribut-metoden fravælges, da den forudsætter at en af de andre metoder anvendes til beregning af bredden. Dermed er der blot tale om en alternativ måde at præsentere resultatet på.

At definere bredden som fra kronekant til kronekant vil være u hensigtsmæssigt, da denne vil vise en fejlagtig stor værdi i forhold til at vurdere om man kan sejle eller fiske i vandløbet. En definition hvor bredden defineres som fra vandspejlskant til vandspejlskant vælges derfor, på trods af at der er tale om grænser der er under konstant forandring. Linjerne for vandspejlskanten kortlægges derfor som produkt. Figur 4 illustrerer definitionen af vandløbets bredde som fra vandspejlskant til vandspejlskant.



Figur 4 - Illustration af definition af vandløbets bredde fra vandspejlskant til vandspejlskant. Blå: vandspejlskant. Grøn: terræn.

4.4.2 Specifikationer ved vandspejlskanten

Geometrisk nøjagtighed

Som med vandløbsmidten og kronekanten kan vandspejlskantens geometriske nøjagtighed specificeres som en horisontal pilhøjde, da der er tale om et forløb.

Vandspejlskantens varierende natur må indgå i betragtningen. En pilhøjde på 1m vurderes derfor som værende den maksimalt tilladte grænse.

Tematisk nøjagtighed

I forhold til den tilsigtede anvendelse vurderes en vandspejlskant for vandløb smallere end 1m unødvendig, som beskrevet i Appendiks A.

Kortlægges der vandspejlskanter for vandløb smallere end 1 m, er det ikke nødvendigt at frasortere disse, da det ikke vil være til gene for interessenterne.

Fuldstændighed

På samme måde som ved vandløbsmidten, skal fuldstændigheden være 100 %, for vandløb større end 1 m.

Aktualitet

Aktualiteten for bredden er svær at bestemme, da vandspejlskanten varierer ofte som følge af både nedbørsmængden og erosion på vandløbets brink. Det skønnes at en opdatering samtidig med midten, 3-5 år, er acceptabelt.

4.5 Attributkompatibelt

Som beskrevet i Kapitel 3, er det nødvendigt at det ny vandløbstema er attributkompatibelt og opdaterbart for at lave en helhedsorienteret løsning.

Det logiske produkt, at knytte attributter til, vil være vandløbsmidten, da denne repræsenterer vandløbets forløb. Da vandløbsmidten kortlægges som linjestykker vil det være muligt at tilknytte forskellige attributter til forskellige linjestykker. De enkelte linjestykker bør dog have en unik ID/kode, således at linjestykkerne kan skelnes fra hinanden. Den unikke ID/kode vil endvidere gøre det muligt at opdatere temaet og eksempelvis overfører attributter fra ét linjestykke til en række nye linjestykker, der tager det gamle linjestykkes plads. Dette kunne eksempelvis være tilfældet ved ågenopretning, hvor åens forløb omlægges til dets oprindelige forløb.

4.6 Opsamling

De fire produkter der blev identificeret som værende nødvendige for at opnå en helhedsorienteret kortlægning af vandløbsteamet er nu specificeret, og de fire produkter der skal kortlægges er:

- Vandløbets forløb → Vandløbsmidten
- Vandløbets kant → Kronekanten
- Vandkapacitet → Tværsnitsprofilen
- Vandløbsbredde → Vandspejlskanten

Endvidere er det blevet specificeret at primært vandløbsmidten skal benyttes til at tilknytte relevant information som attributter.

Tabel 3 indeholder en opsamling af specifikationerne.

Objektklasse	Geometrisk nøjagtighed	Tematisk nøjagtighed	Fuldstændighed	Aktualitet
Vandløbsmidten	Pilhøjde < 1 m	100 %	100 %	3-5 år
Kronekanten	Pilhøjde < 2 m	100 %	100 %	1 år
Tværsnitsprofilen	Afvigelse < 10 %	100 %	100 %	3-5 år
Vandspejlskanten	Pilhøjde < 1 m	Vandløb > 1 m bredde	100 % > 1 m bredde	3-5 år

Tabel 3 - Specifikationer for produkterne.

5 Data

Dette kapitel har til formål at identificere eksisterende datatyper, der kan benyttes til en automatisk kortlægning af vandløbstemaet. Kapitlet er en opsamling af konklusionerne fra Appendix B. I kapitel 4 er det specificeret, hvilke fysiske egenskaber ved vandløb, der skal kortlægges. Disse må derfor tages i betragtning ved udvælgelsen af brugbare datatyper, da disse fysiske egenskaber skal kunne genereres ud fra de valgte datasæt.

Processen med at identificere brugbare datatyper består af to trin. Først foretages en undersøgelse af relevante dataindsamlingsmetoder. Derefter identificeres relevante datatyper tilhørende de relevante dataindsamlingsmetoder.

5.1 Relevante dataindsamlingsmetoder

Generelt kan datatyper brydes op i to kategorier efter indsamlingsmetode: data indsamlet i marken (typisk terrestrisk måling) og data indsamlet ved remote sensing.

Begge dataindsamlingsmetoder kan indeholde relevant information om vandløb, men da data indsamlet ved remote sensing, er billigere at opdatere ved kortlægning af store områder (eksempelvis på landsplan), vælges denne datatype som udgangspunkt for den videre søgning efter relevante data.

5.2 Relevante datatyper

Der findes flere forskellige data der kan have interesse i forbindelse med kortlægningen af vandløb. Afgrænset til remote sensing er der især to datatyper der vurderes til at have potentiale:

- Digitale terrænmodeller - Da disse rummer mulighed for at søge efter vandløbenes fysiske egenskaber i landskabet, frem for kun at lede efter visuelle forhold som eksempelvis ved fotogrammetri
- Multispektrale billeder - Da analysemulighederne ved disse, især de infrarøde bånd, rummer stort potentiale for god identifikation af vand.

Som en direkte konsekvens af datavalget kan rørlagte vandløb altså ikke kortlægges med mindre disse interpoleres i mellem åbne vandløb. Dette er et problem som vil have en konsekvens for kapacitetsberegningerne for vandløbene. Valget har ingen konsekvens i randzone-sammenhænge, da dette kun er relevant for åbne vandløb. (Lov om randzoner, 2011)

Skal kortmaterialet altså fremstå som sammenhængende netværk, vil det være nødvendigt, manuelt at forbinde kortlagte åbne vandløb, med rørlagte vandløb.

6 Problemformulering

Med udgangspunkt i den initierende problemstilling, omkring behovet for en ny kortlægning af de danske vandløb, er de relevante faktorer – Interessenter og tilgængelige datasæt, blevet gennemgået. Disse ressourcer og behov danner rammerne for udformningen af det videre arbejde. Der skal arbejdes ud fra multispektrale billeder og en digital terrænmodel.

På baggrund af denne opsummering kan følgende problemformulering udarbejdes:

Hvordan kan remote sensing data, specielt multispektrale billeder og en digital terrænmodel, anvendes til at udarbejde et vandløbsprodukt der omfatter vandløbsmidte, vandspejlskant, kronkant og tværsnitsprofil, og som er i stand til at leve op til de opstillede specifikationer (se afsnit 0) for nøjagtighed såvel som helhedsorientering.

For at besvare denne problemformulering vil det være nødvendigt at opsætte en række principper for, hvordan de fire produkter ved vandløb kan kortlægges, således at en funktionel metode herefter udarbejdes. Det vil endvidere være nødvendigt at udvælge specifikke datasæt af datatyperne multispektrale billeder og digitale terrænmodeller, der kan anvendes som grundlag for beregningerne.

7 Principper for metode

Ved en gennemgang af forskellige interessenters behov ved et vandløbstema blev det klargjort, at et helhedsorienteret vandløbstema bør indeholde information om den geografiske placering af vandløbsmidten, kronekanten, vandspejlskanten samt en beskrivelse af tværsnitsprofilen. Disse produkters specifikationer blev defineret med udgangspunkt i deres benyttelse i Kapitel 4.

Principperne bag den tekniske metode koncentrerer omkring kortlægningen af disse fire fysiske kendetegn ved vandløbene. Principperne vil blive beskrevet i faser tilknyttet de fire produkter. Den første fase er dog en forberedende fase, hvor data indsamles og konverteres til formater der er specifikke for denne proces. De næste fire faser er tilknyttet de fire fysiske kendetegn ved vandløb, som produktet skal beskrive. Ideen er, at produktet fra den foregående fase, kan benyttes i den efterfølgende fase, således at der er tale om en sammenhængende proces. Efter udviklingen af metoden vil den afsluttende fase 6 være en kontrol af det producerede produkters kvalitet, Jf. kapitel 4.

Figur 5 beskriver processen med kortlægningen af de fire fysiske kendetegn ved vandløbene opdelt i de seks faser.



Figur 5 - Overordnet faseinddeling af metode.

Vandløbsmidten virker som et naturligt udgangspunkt for vandløbskortlægningen, da denne repræsenterer vandløbets geografiske placering. Kortlægningen af vandløbsmidten finder dog sted i fase 3 og ikke i fase 2, da den, jf. Kapitel 4 beregnes ud fra vandspejlskanten.

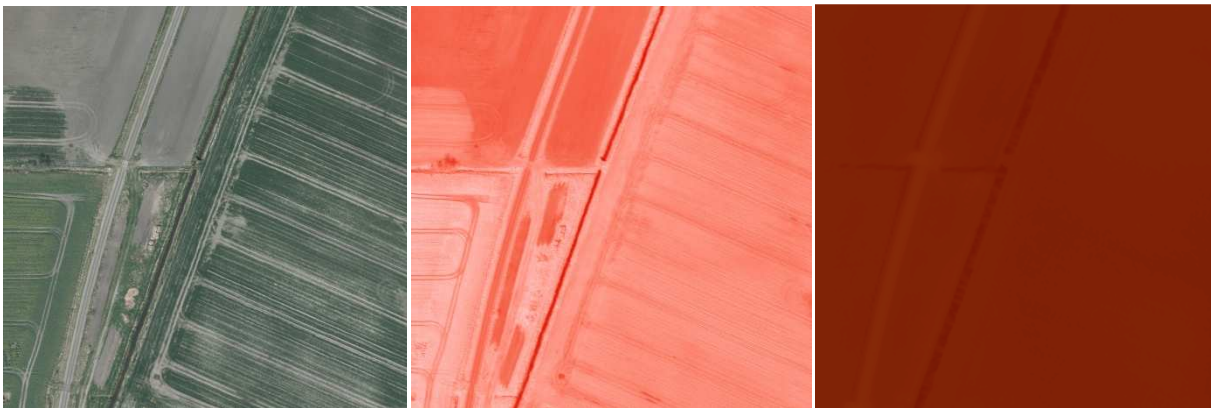
Bagerst i kapitlet findes et procesdiagram.

7.1 Beskrivelse af Fase 1 - Dataindsamling

Den indledende fase omhandler udpegningen af et passende testområde. Derpå skal datasættene for de beskrevne datatyper (se afsnit 5.2) i dette område indsamles.

7.2 Beskrivelse af Fase 2 - Vandspejlskanten

Fase 2 består af kortlægningen af vandspejlskanten. Vandspejlskanten er synlig i de multispektrale fotos, især i det nær infrarøde bånd (NIR), hvor der er vand i vandløbene og hvor vandet ikke er skjult af bevoksning eller lignende. I en digital terrænmodel kan vandløbene observeres som aflange fordybninger (se Figur 6 - højre billede). En kombination af de to datasæt kan derfor antages at understøtte en kortlægning af vandspejlskanten.



Figur 6 - Eksempel på af de benyttede data. Fra venstre mod højre: Et traditionelt foto i rød, grøn, blå (RGB); NIR-bånd; Terrænmodellen i brun skala.

Figur 6 illustrerer kendetegnene ved vandløb i de to datasæt. I Figur 6 er det røde, grønne og blå farvebånd (RGB) visualiseret (disse tre udgør et normalt farvefoto); nærinfrarød (NIR) visualiseret som rød skala og koten (H) visualiseret som brun skala.

7.2.1 Kombination af data

Da begge datasæt er tilgængelig som rasterdata kan data kombineres som raster. Rasterformatet er et velegnet format til at foretage analyser og statistiske beregninger (esri, 2013), hvilket er en fordel ved kortlægning på baggrund af de store datamængder, som både terrænmodellen og de multispektrale billeder består af.

Da terrænmodellen beskriver terrænets overflade i absolutte værdier, kan disse ikke benyttes uden bearbejdning. Dette skyldes at forskellige vandløb ikke nødvendigvis har samme kote, på trods af, at de ligger i det samme referencesystem. Et vandløb i et bakket område kan ligge højere over havets overflade end et vandløb i en ådal. Fælles for de to er dog, at de begge ligger lavere end deres omkringliggende landskab. Det er derfor nødvendigt at bearbejde koterne, således at man betragter dem relativt i forhold til omgivelserne, og ikke på landsplan, for at de formodes at have samme egenskaber.

7.2.2 Kortlægning ved hjælp af Image Classification

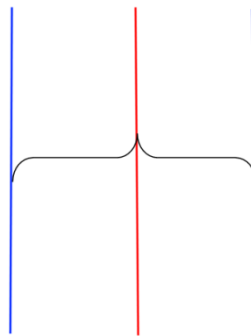
Der findes flere forskellige metoder til at analysere rasterdata, hvoraf de metoder, der beror på manuel analyse, fravælges, da disse ikke kan indgå en automatisk proces. Af automatiske analyser kan image classification nævnes som en anerkendt metode, der hurtigt kan klassificere store mængder af rasterdata, som eksempelvis vand og marker (Lillesand, Kiefer, & Chipman, 2008). Image classification er derfor principielt en velegnet metode til at kortlægge vandspejlskanten, da grænserne imellem vand og land kan kortlægges, og denne grænse må være i overensstemmelse med vandspejlskanten.

Definere søgeområde

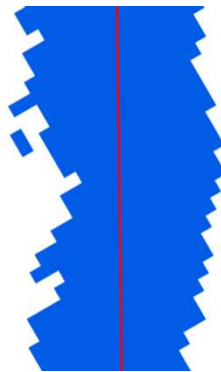
Formålet med at definere et søgeområde for vandspejlskortlægningen er at effektivisere processen, således at image classification'en kan forløbe hurtigere, jo mindre området er. Endvidere bør fejklassificeringen af vandløb formindskes, da færre vandløbslignende objekter så burde optræde i billedet.

7.3 Beskrivelse af Fase 3 - Vandløbsmidten

Vandløbsmidten kan beskrives som midten imellem vandspejlskanterne, som beskrevet i Kapitel 4, og kan i princippet derfor beregnes ud fra disse, som illustreret i Figur 7. I de tilfælde, hvor vandløbet er smallere end 1 m kortlægges vandspejlskanten ikke, og vandløbsmidten må derfor kortlægges direkte ud fra midten af det klassificerede.



Figur 7 - Illustration af fastlæggelsen af vandløbsmidten ud fra vandspejlskanterne.



Figur 8 - Illustration af fastlæggelse af vandløbsmidten ud fra klassifikationen.

Efter beregningen af vandløbsmidten forbedres søgeområdet, fastlagt i fase 2, i en iterativ proces, for at finde mulige ukortlagte vandløb.

7.4 Beskrivelse af Fase 4 - Kronekanten

Kortlægningen af kronekanten bør opbygges omkring terrænmodellen, da kronekanten netop er den fysiske brudlinje i terrænet, der afgrænser vandløbets skrænter.

Kortlægningen af kronekanten kan tage udgangspunkt i tværsnitsprofiler, da man ved at betragte profilens form kan identificere knækpunktet (kronekantspunktet) imellem fladt landskab og vandløbets skrænt (se Figur 9).

En anden tilgang kan være at benytte den, i forhold til omgivelserne, relative højdemodel, som blev forslået i fase 2, og gennemføre en image classification. Denne vil kunne genkende fordybninger og dermed finde disse fordybningers grænse: kronekanten.



Figur 9 - Illustration af kronekanten i et tværsnitsprofil.

Metoden med at betragte et tværsnitsprofil vurderes dog som værende at foretrække, således at der benyttes de direkte oplysninger om terrænmodellen og ikke tolkede resultater.

7.5 Beskrivelse af Fase 5 - Tværsnitsprofilet

Som beskrevet i afsnit 4.3 er profilets funktion at kortlægge vandløbets kapacitet, og derfor kan den påkrævede nøjagtig ikke udtrykkes ved de enkelte punkter, men i stedet ved profilets areal, som udtryk for hvor stort et område vandet kan passere gennem i profilet.

Tværsnitsprofilerne må derfor omdefineres af hensyn til datagrundlaget til at gå fra kronekant til kronekant og kun indeholde det af profilet der ligger over vandspejlet. Dette skyldes at der ikke findes data under vandspejlet som følge af opmålingsmetoden (laserscanning fra luften). Det omdefinerede tværsnitsprofil kaldes herefter "skæringsprofilet", da der ikke er tale om et komplet tværsnitsprofil.

Skæringsprofilet har altså en række begrænsninger i forhold til et tværsnitsprofil, i forbindelse med beregning af vandkapaciteten af et vandløb. Som følge af at skæringsprofilet ikke indeholder koterne under vandspejlet, vil dets areal være mindre end i virkeligheden, og dermed vil kapaciteten reelt set være større. Hvorvidt dette medfører at skæringsprofiler i praksis ikke kan bruges til det ønskede formål, kan ikke siges, men profilet over vandspejlet kan stadig bruges til at vurdere kapaciteten for hvor meget mere vand vandløbet kan håndtere i tilfælde af kraftige regnmængder.

7.5.1 Metoder til kortlægning af skæringsprofiler

Skæringsprofilerne genereres ortogonalt på vandløbsmidten, der repræsenterer vandløbets placering, med udgangspunkt i terrænmodellen. Skæringsprofilerne genereres i terrænmodellen og ikke i fotoene, da terrænmodellen indeholder højdeinformationer.

Skæringsprofilet skal, som nævnt i specifikationerne, være afgrænset af kronekanten, da denne markerer den øvre grænse for vandkapaciteten.

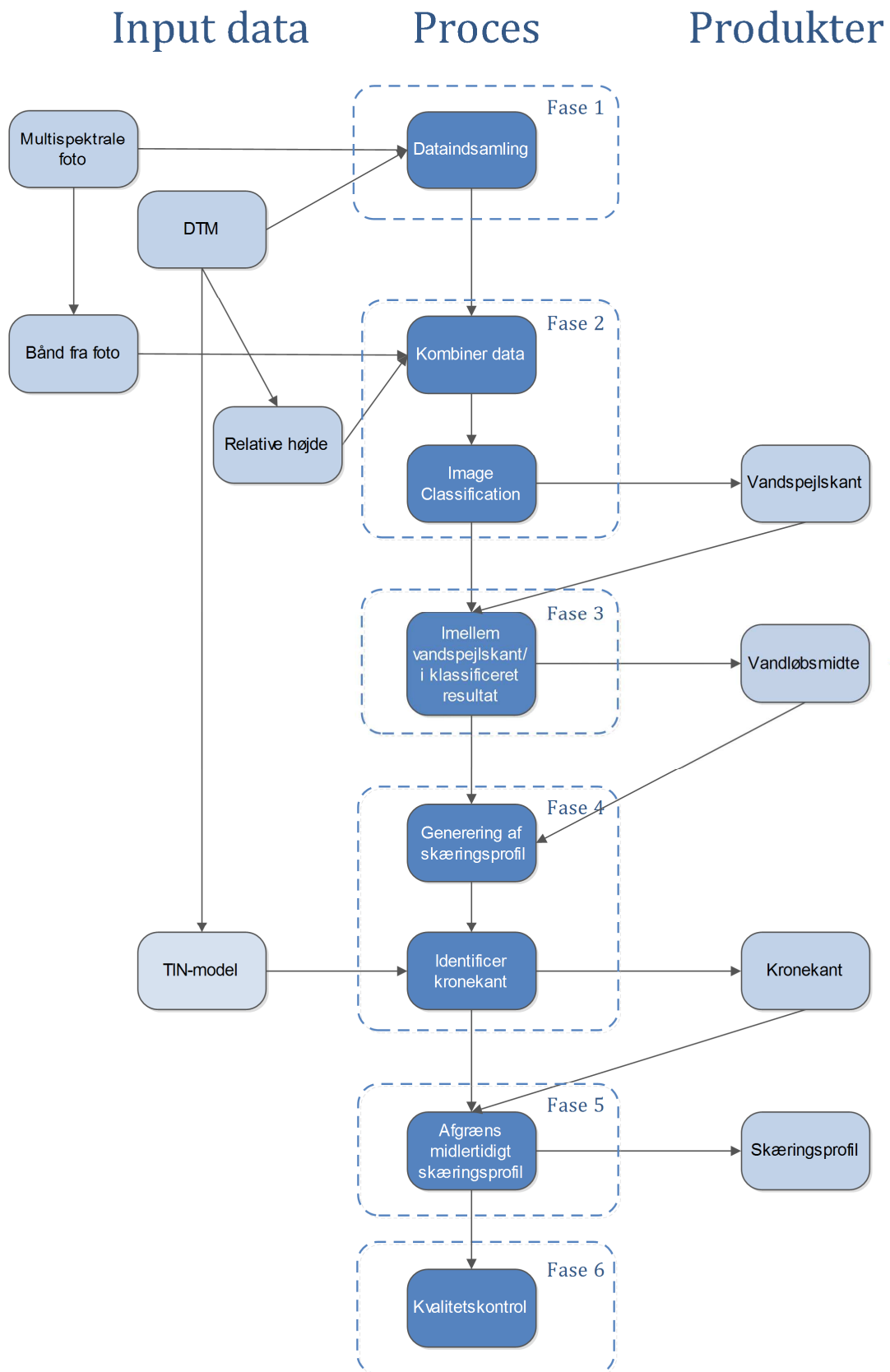
7.6 Beskrivelse af Fase 6 – Kvalitetskontrol

Kvalitetskontrollen skal vise om de fire produkter kan leve op til kravene fra specifikationen. Det er kun nødvendigt at kontrollere tre af de fire kvalitetsmål der defineres i specifikationerne for de enkelte produkter:

- Geometrisk nøjagtighed
- Tematisk nøjagtighed
- Fuldstændighed

Aktualitet er ikke relevant at kontrollere, da dette er et opdateringskrav til produkterne.

For at kontrollere de tre kvalitetsmål må et kontroldatasæt indsamles, således at produkterne kan sammenlignes med dette.



Figur 10 - Procesdiagram.

8 Valg af software

Til udviklingen af metoden for automatisk kortlægning af vandløbstemaet skal der udvælges software. For at udvælge software må der først opstilles en række kriterier for hvad der kræves af programmerne.

8.1 Kriterier for valg af software

Softwaret skal kunne anvendes til en automatiseret kortlægning, da dette er et af kravene for at konstruere en helhedsorienteret løsning. Grundet ønsket om at opnå en automatisk proces, vil det endvidere være en fordel, hvis hele metoden kunne udvikles i ét software. Dette vil kræve et software der både kan håndtere raster- og vektorformat og ligeledes vil være i stand til at analysere dataene.

Softwaret skal kunne anvendes til samtlige af de aspekter, der er beskrevet i det foregående kapitel.

Slutteligt vil det være en stor fordel, hvis software er velkendt således at unødvendig spildtid, med indlæring undgås.

8.2 Valgte software

Der findes software, som er specifikt udviklet til image classification, som eksempelvis MultiSpec. Endvidere findes software som MATLAB, der kan håndtere begge dataformater og analysere på begge formater, delvist ved indbyggede værktøjer, eller som programmeringsværktøj. Der findes også GIS-programmer, der er i stand til at analysere på både raster- og vektordata, ofte ved et bredt udvalg af indbyggede værktøjer. Et GIS program vil derfor være at foretrække som primær software, da det kan antages at en lang række af de nødvendige værktøjer allerede er indbygget i softwaret, hvorved tiden til udviklingen af metoden forkortes.

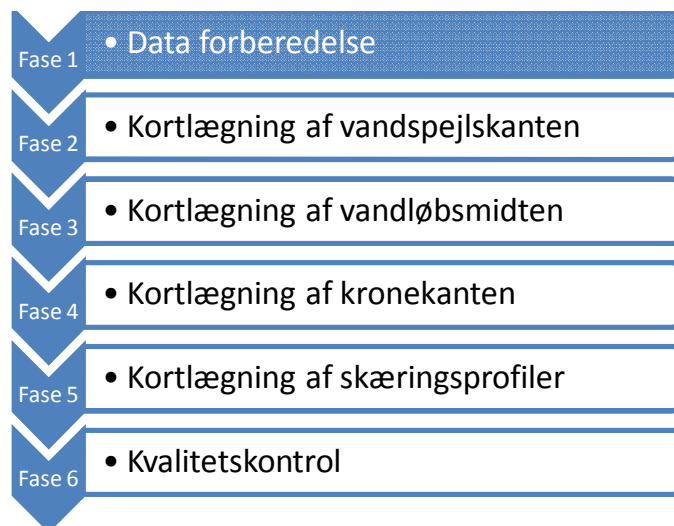
Esri's ArcGIS vælges derfor som det primære software at udvikle metoden i. Af gratis alternativer kan Quantum GIS nævnes, men da universitetet stiller ArcGIS gratis til rådighed og softwaret er velkendt, vælges dette. Metoden skal udvikles så den kan overføres til andet software.

På trods af ArcGIS bredfavnende værktøjer kan det antages, at det vil være nødvendigt at programmere visse dele af processen i et andet software. ArcGIS rummer muligheden for applikationer programmeret i eksempelvis Python. Da der ikke er kendskab til dette programmeringsværktøj, vælges programmet MATLAB, da dette er et velkendt programmeringsværktøj, der før har vist sig velegnet til lignende operationer (Sørensen, Jensen, & Hansen, 2012). Ulempen ved at programmere i MATLAB kontra Python i ArcGIS er, at dette besværliggør en automatisk proces, da der så skal påregnes en konvertering imellem de to programmer. Da formålet med kortlægningen er, at opstille principielle løsningsmetoder anses dette dog som værende mindre vigtigt i forhold til udviklingen af principperne.

Disse to software skulle tilsammen gøre det muligt at arbejde inden for alle de opstillede principper beskrevet ved Kapitel 7 samtidig med, at processen i høj grad vil være muligt at konstruere som en automatisk proces.

9 Fase 1 - forberedelse af data

I dette kapitel beskrives de valg, der er foretaget i forbindelse med forberedelsen af data. Endvidere præsenteres resultaterne af dataforberedelsen. Selve forberedelsen af data er beskrevet nærmere i Appendiks C.



Figur 11 - Metodeoversigtsfigur.

I første delafsnit beskrives testområdet og dernæst præsenteres de datasæt, der benyttes i processen.

9.1 Testområde

Da fokus for denne rapport er at udvikle en proces, udvælges et område, hvor de udviklede funktioner kan testes.

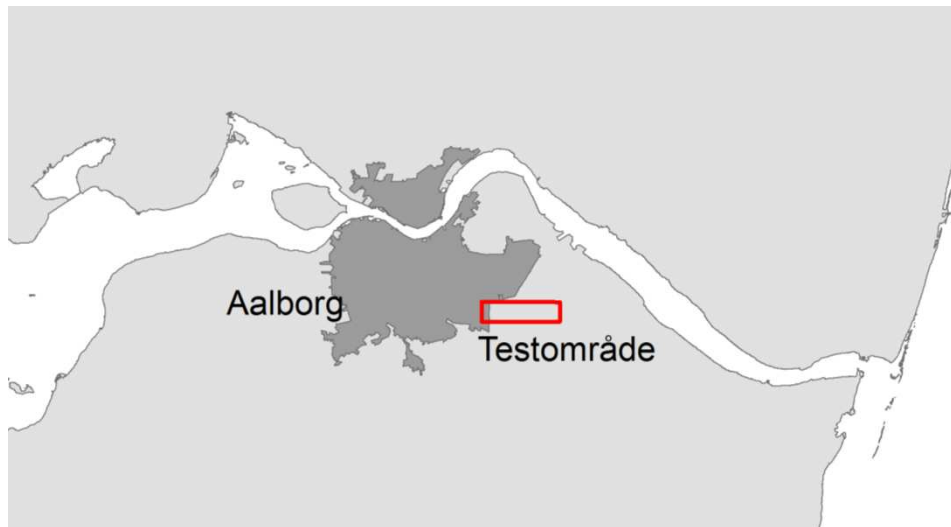
Testområdet er udvalgt på baggrund af en række kriterier, som er givet af en kombination af interessenternes behov ved vandløbstemaet, samt at der forekommer forskellige vandløbstyper (se Appendiks C).

Det udvalgte testområde ligger sydøst for Aalborg og ses i Figur 13. Området overholder følgende kriterier og er dermed fundet egnet:

- Indeholde et stort antal vandløb
- Diversitet imellem vandløbene og deres omgivelser
 - Menneskeskabte vandløb / Udrettede vandløb
 - Både mark og bebyggelse omkring vandløbene
- Er let tilgængeligt fra Aalborg i forbindelse med opmåling af kontroldata.

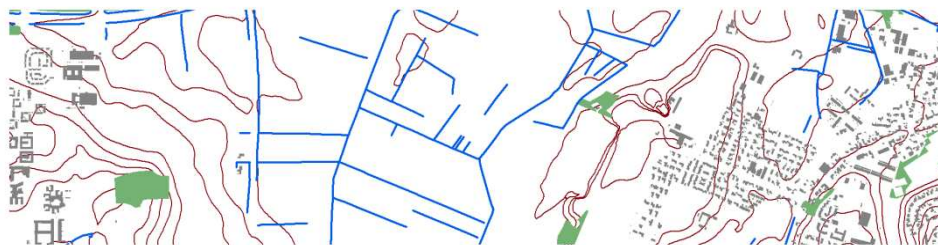
Følgende kriterier er kun i et begrænset omfang eller ikke eksisterende i testområdet:

- Diversitet imellem vandløbene og deres omgivelser
 - Naturlige (slyngende) vandløb
 - Varierende vandløbsbredde
 - Skov omkring vandløbene



Figur 12 - Placering af testområdet i nærheden af Aalborg.

Negativ set er testområdet ikke det optimale, da vandløbene primært er rette og ligner menneskeskabte drængrøfter, hvilket ikke er et dækkende udpluk af de danske vandløb. Yderligere er testområdet primært fladt, hvilket gør at vandløbene vil være meget karakteristiske fordybninger i landskabet, der gør dem let genkendelige i en terrænmodel. Af disse årsager vil det muligvis være lettere at lokalisere vandløbene end det er i for eksempel et kuperet landskab, men hvis processen virker på dette testområde, vil næste skridt så være et mere kuperet område. Det vurderes dog at de positive egenskaber (oplistet ovenover) opvejer de negative, især tilgængeligheden.



Figur 13 - Testområdets topografiske indhold. Blå: Vandløb. Grøn: Skov. Grå: Bygninger. Rød: 2 m højdekurver. Data fra geodatastyrelsen.

Andre områder kan alternativt benyttes som testområder, hvor disse muligvis har andre styrker end det valgte testområde. Disse områder kan for eksempel indeholde nogle af de kriterier, som er mangelfulde ved det valgte testområde, så som naturlige slyngede vandløb, ikke-kortlagte vandløb, og en større mængde vandløb.

9.2 Multispektrale billeder

Valget af multispektrale billeder er baseret på ønsket om tilgængelige data der løbende opdateres og dækker hele Danmark.

Det vil desuden være nyttigt hvis datasættet er tilgængelig for offentligheden.

De multispektrale billeder stilles til rådighed af Geodatastyrelsen som ortofoto.

Det digitale ortofoto der stilles til rådighed indeholder 4 bånd: rød, grøn, blå og infrarød. Fotoene er taget i foråret 2012 inden løvspring, hvilket gør det muligt at se vandløbene. COWI kan ligeledes levere et landsdækkende ortofoto (COWI, 2013), men Geodatastyrelsens foto er valgt på grund af tilgængeligheden.

Nøjagtigheden for ortofotoene ved vandløbene estimeres til en spredning på 80 cm i planet og pixelstørrelsen er på 10 cm på jorden. Yderligere kvalitet og informationer er beskrevet i Appendiks C og er listet i følgende tabel. Identifikationen af vandløb vil i høj grad basere sig på de multispektrale billeder, og er derfor naturligt forbunden med kvaliteten af disse.

Antal fotos	4
Antal bånd	4 (Blå, Grøn, Rød, Infrarød)
Fotograferingstidspunkt	2. Maj 2012
Format	8-bit
Pixelstørrelse	10 cm
Nøjagtighed	80 cm
Distributør	Geodatastyrelsen

Tabel 4 - Specifikationer for multispektrale fotos.

Endvidere forventes det, at der ved processen med at danne ortofotoet er foretaget en række editeringer ved de multispektrale billeder, som kan have indflydelse på kortlægningen. Ved seamlines kan der forekomme knæk og farveforskelle imellem billederne vil antageligvis kunne påvirke image classification processen.

De multispektrale billeder for testområdet er visualiseret ved Figur 14.



Figur 14 - Det multispektrale foto for testområdet.

9.3 Digital terrænmodel

Som med de multispektrale billeder ønskes den digitale terrænmodel ligeledes landsdækkende, samt med mulighed for løbende opdatering og offentlig adgang til data.

Den digitale terrænmodel (DTM) er frit tilgængelig ved grunddataprogrammet og hentes fra kortforsyningen. Punkttætheden og punktnøjagtigheden er begge væsentlige elementer i beskrivelsen af terrænet.

Til efterfølgende brug omformes terrænmodellen til en Triangular Irregular Network (TIN) model ved Delaunay triangulation. Dennes nøjagtighed og specifikationer er opstillet i Tabel 5 (for yderligere beskrivelse se Appendiks C).

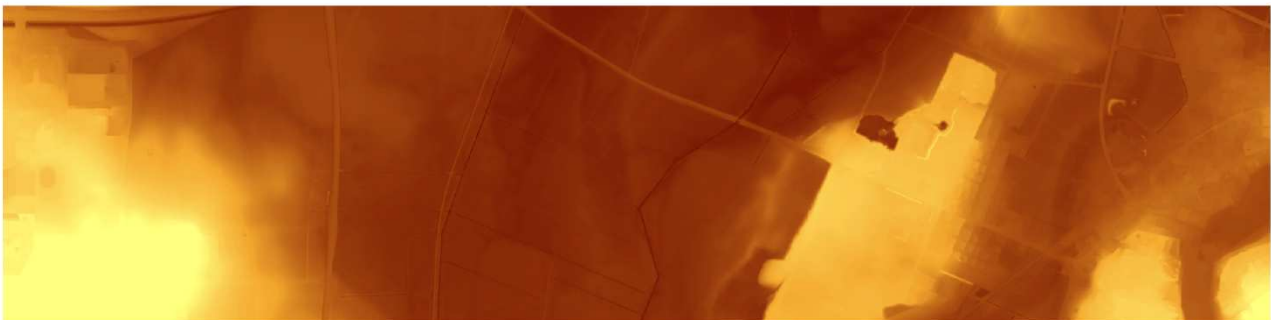
Opmålingstidspunkt	2005-2007
Punkttæthed	0,45 pr. m ²
Nøjagtighed horisontal	1 m
Nøjagtighed vertikal	10 cm
Distributør	Geodatastyrelsen

Tabel 5 - Specifikationer for TIN-modellen.

DTM'en skal jf. Kapitel 7 bruges i rasterformat, for at kunne kombinere den med de multispektrale billeder, og omdannes derfor til raster. Rasterterrænmodellen genereres med en pixelstørrelse på 10cm, for at der kan foretages en direkte sammenligning med ortofotoerne, der ligeledes har en pixelstørrelse på 10 cm.

COWI har, som Geodatastyrelsen, også en terrænmodel de stiller til rådighed (COWI, 2013). Denne er dog ikke frit tilgængelig, hvorfor denne fravælges.

Yderligere info omkring DTM'en ses i Appendiks C. Den digitale terrænmodel for testområdet er visualiseret som punkter og rasterfil ved Figur 15.



Figur 15 - Digital terrænmodel i rasterformat visualiseret i brun skala.

9.4 Eksisterende vandløbsdata

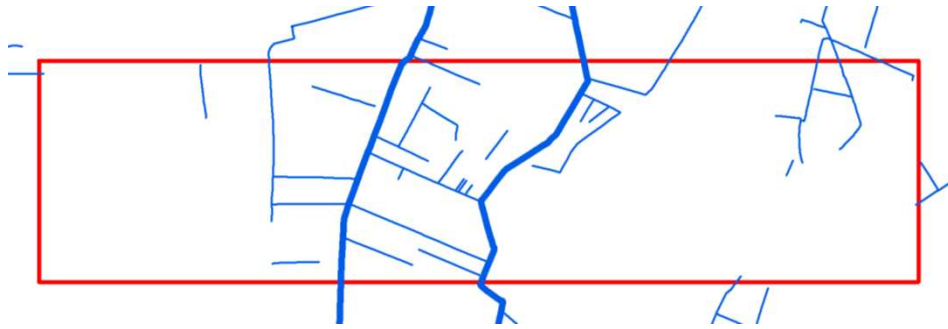
Senere i fase 2 vælges det at benytte et eksisterende vandløbsdatasæt, som begrænsning af søgeområdet (Se afsnit 10.2). Der findes flere offentlige og private vandløbsdatasæt, men et landsdækkende tema, der er frit offentligt tilgængeligt, er FOT-datasættet (GST, 2013).

Det valgte eksisterende vandløbstema er frit tilgængeligt via grunddataprogrammet og kan downloades som en del af FOT temaet via kortforsyningen. FOT's vandløbstema skelner mellem vandløb og grøfter. Begge medtages for at sikre fuldstændigheden, da denne rapport definitionen af vandløb er forskellig fra FOT.

Maksimumgrænse	2 m
Begrænsning	< 50 m
Tematisk nøjagtighed	97-99 %

Tabel 6 - Specifikationer for det eksisterende vandløbsdata (FOT specifikation, 4.1).

Det eksisterende vandløbstema for testområdet er visualiseret ved Figur 16.



Figur 16 - Eksisterende vandløb i testområde.

9.5 Opsamling på Fase 1

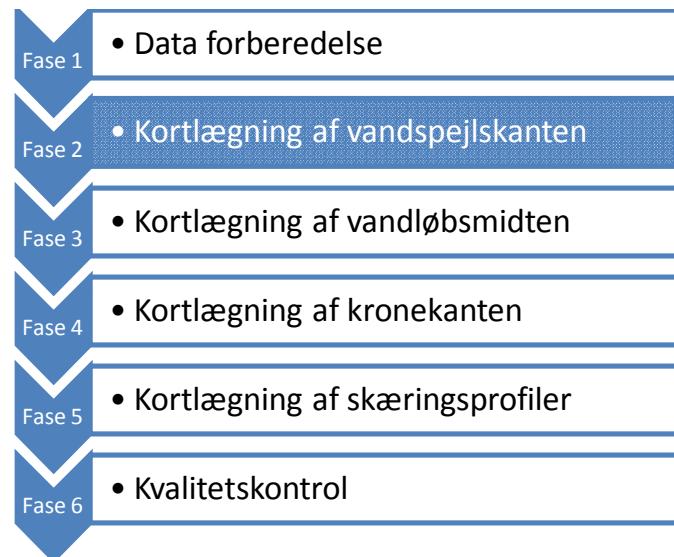
I Fase 1 er et egnet testområdet blevet udpeget og data for dette område er indhentet. De tre datasæt der er tilvejebragt er:

- Den frit tilgængelige terrænmodel
- Det frit tilgængelige FOT vandløbstema
- Multispektrale ortofotos

Datasættene er alle stillet til rådighed af Geodatastyrelsen.

10 Fase 2 – kortlægning af vandspejlskanten

Som beskrevet i Kapitel 7 omhandler Fase 2 opbygningen af en metode til kortlægningen af vandspejlskanten samt produktionen af data, der kan benyttes til at kortlægge vandløbsmidten.



Figur 17 – Metodeoversigtsfigur.

Før vandspejlskanten for vandløbene bredere end 1 m kan udarbejdes, skal klassifikationen gennemføres, jf. afsnit 7.2, hvilket er en proces med flere delelementer, hvortil kvalitetsvurdering og efterbehandling kan tilføjes:

- Kombination af data
- Definere søgeområde
- Image classification
- Kvalitetsvurdering
- Efterbehandling

På baggrund af resultatet af klassifikationen kan vandspejlskantsproduktet udarbejdes.

10.1 Kombination af data

Da metoden til kortlægning af vandløb jf. Kapitel 7 baserer sig på en kombination af multispektrale billeder og højdedata kan disse datasæt med fordel kombineres. På denne måde udnyttes forskellige data og informationer samlet, så der opnås et bredere favnende resultat. De forskellige datatyper kan fremhæve og visualisere vandløbene på forskellige måder hvorved det antages at styrkerne fra de enkelte metoder kan komplimentere hinanden ved Image Classification.

Først beskrives det, hvorledes båndene fra ortofoto kan bearbejdes, således at de visualiserer vandløbene bedst muligt. Derefter beskrives DTM'en og dennes forandringer.

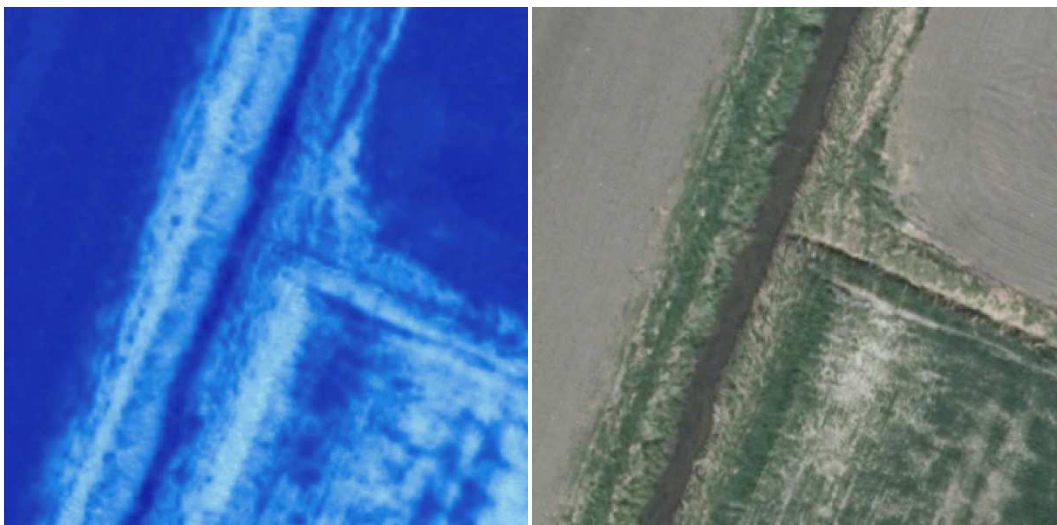
10.1.1 Båndberegninger

Ved båndberegningerne benyttes især viden omkring det infrarøde lys, der absorberes af vand, og ikke kommer med i fotoerne.

NDVI

Normalised Difference Vegetation Index (NDVI) er en simpel beregningsmetode, som resulterer i et nyt bånd, hvor vandløbene fremhæves. Beregningen af NDVI findes i Appendiks D1. Vandløb fremhæves i NDVI fordi, vand absorberer det infrarød lys. Andre landskabstyper fremhæves ligeledes ved NDVI, hvorved disse må identificeres i et andet bånd for at undgå fejlklassifikation af vandløbene.

I NDVI båndet bliver vandløbene fremhævet med lave værdier, visualiseret med mørke farver i Figur 18.

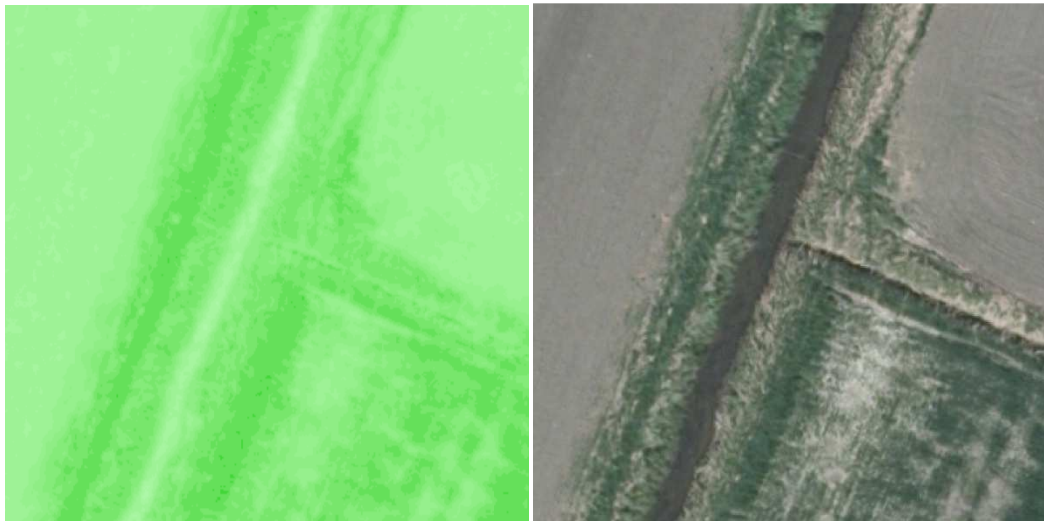


Figur 18 - - NDVI-bånd visualiseret i blå skala ved siden af RGB-foto. Vandløbet fremstår med mørke farver, som lave værdier.

Band ratio

Band ratio er en anden simpel beregningsmetode med båndene, der resulterer i et bånd, hvor vandløbene er fremhævet i forhold til omgivelserne. Se Appendiks D1 for beregningen. Igen er der ikke tale om et entydigt resultat, men et der bør indgå i sammenhæng med andre bånd. Band ratio er et generelt udtryk for division imellem to eller flere bånd i et foto. Dog henvises til en speciel band ratio, der fremhæver vandet godt (se Appendiks D1).

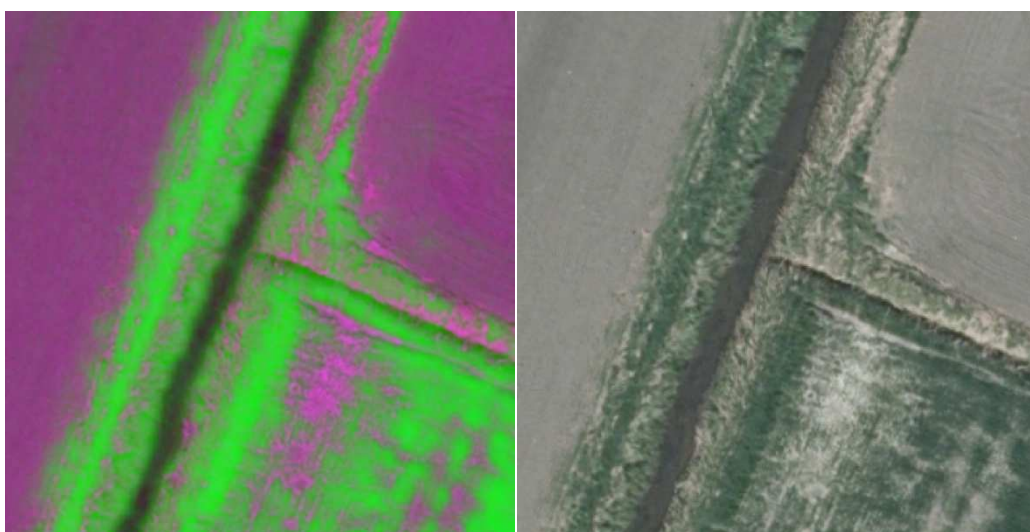
Band ratio fremhæver vandløb ved høje værdier, visualiseret ved lyse farver i Figur 19.



Figur 19 - Band ratio-bånd visualiseret i grøn skala ved siden af RGB-foto. Vandløbet fremstår med lyse farver, som høje værdier.

Diskussion

NDVI og band ratio er nyttige til at fremhæve vandløbene og kan benyttes som et ekstra input til image classification, således chancen til at lokalisere vandløbene forøges. De to nye rasterfiler, har den egenskab, at vandløb har enten en høj eller lav værdi. Dog er disse værdier ikke unikke for vandløbene, hvilket gør at steder som veje eller skygger vil fremstå ens med vandløbene. Dette vil antageligvis skabe problemer i klassifikationen, der ikke vil kunne skelne imellem de forskellige objekter i de enkelte bånd. De beregnede bånd kan altså ikke individuelt anvendes til at kortlægge vandløbene. I stedet vil en sammenkobling af de nye raster med de eksisterende farvebånd, der har andre værdier for vand, give et mere distinkt billede af vand. Figur 20 viser hvorledes en kombination af NDVI-båndet og eksisterende rød og blå bånd, giver et mere entydigt billede af vand, der fremstår som meget mørkt.



Figur 20 - NDVI-båndet sammen med de eksisterende rød og blå bånd ved siden af RGB-foto. Vand fremgår som meget mørk linje.

10.1.2 Højderelationer

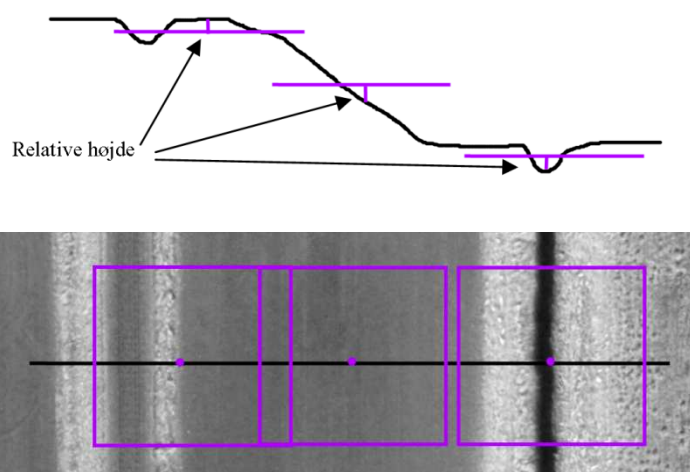
Fordelen ved at inddrage højdedata i image classification er, at fordybninger som grøfter og vandløb kan træde frem, selvom de pga. udtørring eller tilgroning ikke var synlige fra luften, da billedet blev taget. Grøfter og smalle vandløb vil stadig kunne identificeres i den digitale terrænmodel, som "kløfter" i landskabet, hvor de muligvis kan hjælpe med entydighed og forhindre, at eksempelvis fugtige områder på marker klassificeres som vandløb. Der skal dog tages højde for, at kraftig bevoksning stadig kan have en "ødelæggende" effekt på terrænmodellen. Dertil kommer at den lave punkttæthed (få punkter pr. m²), har en begrænsende effekt på detaljegrad og synligheden af især mindre vandløb (Sørensen, Jensen, & Hansen, 2012). Dette problem kan dog afhjælpes i fremtiden ved en terrænmodel af bedre kvalitet og højere punkttæthed.

Som det beskrives i Kapitel 7 skal terrænmodellen omregnes fra absolutte koter til relative højdeforskelle. Dette skyldes, at en image classification har brug for entydige informationer om vandløbenes koter, for at kunne sammenholde et højt og lavt beliggende vandløb. I de følgende afsnit beskrives mulige metoder for udregning af relative højder.

For at kunne benytte højdedata i sammenhæng med fotoene og de andre producerede bånd i tidligere afsnit bør resultatet af højderelationerne være i rasterformat.

Gennemsnitlig højde

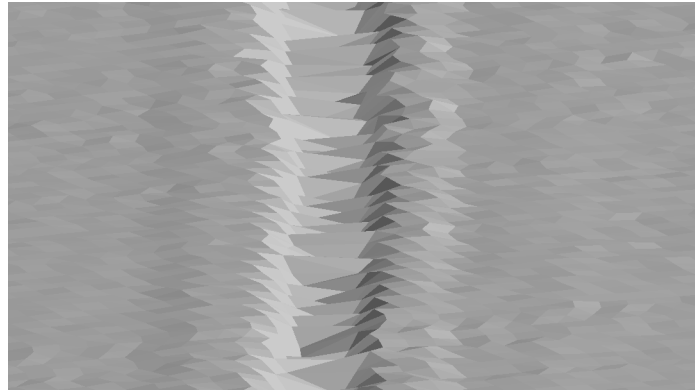
Den relative højdeforskel kan udregnes som forskellen imellem et givent punkt og dets opgiversers gennemsnitlige kote, hvor omgivelsernes omfang har centrum i det aktuelle pixel. Omfanget bør være en størrelse, der er afhængig af det aktuelle områdes udformning og bredden af områdets vandløb. Området bør være af sådan en størrelse, at gennemsnittet ligner koterne for det omkringliggende område, således højdeforskellen fra vandløbene giver et udsving i resultatet. Skrænter i landskabet og store højdeforandringer vil dog have indflydelse på den gennemsnitlige kote og dermed højdeforskellen. Metoden er illustreret ved Figur 21.



Figur 21 - Illustration af den relative højde i forhold til det vandrette plan i den gennemsnitlige kote. Set fra siden og fra oven. Lilla: Vandrette plan i den gennemsnitlige kote. Sort: terræn.

Hældningskoefficienter

En anden metode kan være at betragte hældningskoefficienterne i TIN-modellens trekanter og på den måde kunne identificere forløb af skrænter, der kunne indikere forekomsten af vandløb (Se Figur 22). Forløb med to modsatrettede hældninger (fordybninger i landskabet / kløfter) kan dermed udpeges som potentielle vandløb.

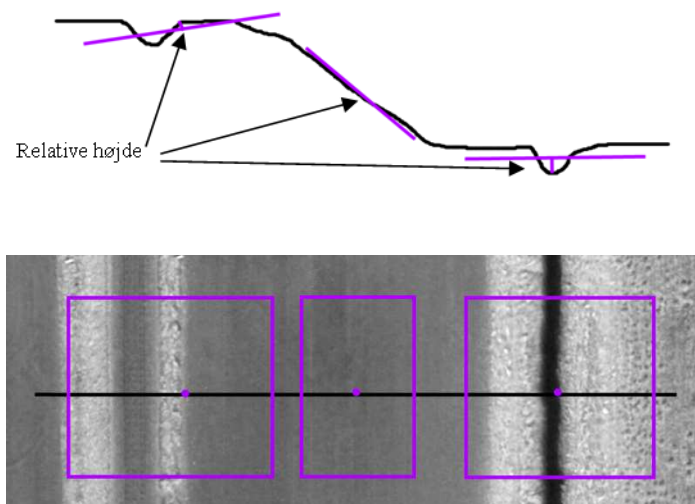


Figur 22 – Et eksempel på et forløb af et vandløb set i TIN-modellen. Trekkanterne med den skarpeste hældning ses på vandløbets sider.

I forhold til automatisk image classification, har denne tilgang dog den ulempe, at den store hældning ikke nødvendigvis vil være overlappende med vandspejlet, men derimod vandløbets skrænter.

Planer

I stedet for at anvende et horisontalt plan med en konstant gennemsnitshøjde, kan et plan med 3 variable benyttes, da dette kan repræsentere det omkringliggende landskab mere præcist, som illustreret ved Figur 23.



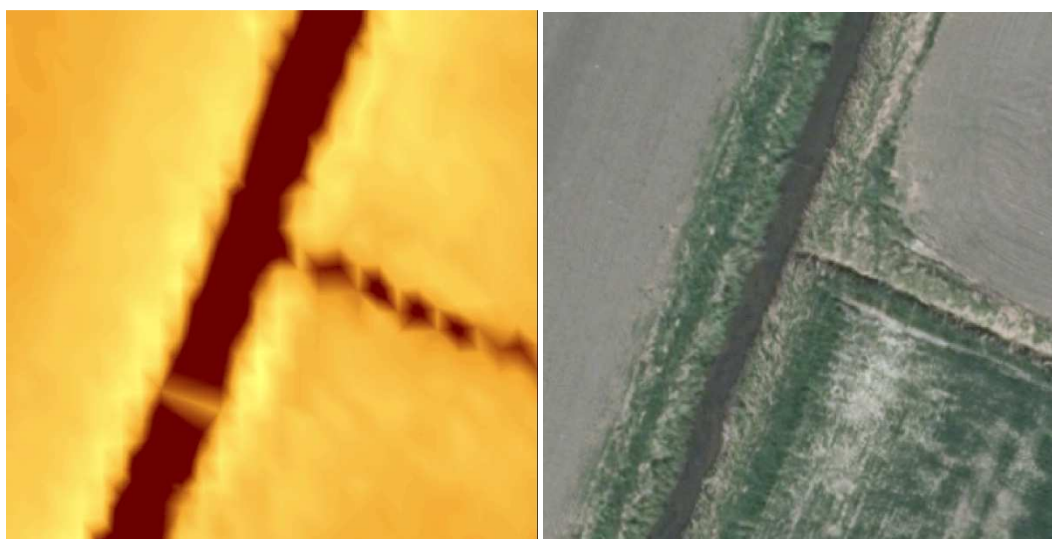
Figur 23 – Illustration af den relative højde i forhold til et plan med 3 variable. Set fra siden og fra oven. Lilla: plan. Sort: terræn.

Højdeforskellen fås imellem den aktuelle pixel og det plan, der passer bedst mulig på de omkringliggende pixels. Omfanget af de omkringliggende pixel bør ligesom ved metoden med gennemsnitlige højder være tilpasset det aktuelle område.

Valg af metode for beregning af relative højder

Metoden, der beregner den relative højde i forhold til gennemsnitskoten, vælges. Metoden har den fordel at den er hurtig at benytte og som illustreret ved Figur 24 giver metoden endvidere gode resultater. Vandløb findes endvidere oftest på lavtliggende områder som ådale, og metoden kan derfor antages at kunne benyttes på store dele af landet.

De to alternative metoder har begge potentiale for at kunne levere en brugbar relativ højdemodel. Af de to må beregningen ud fra planer betragtes som den mest simple. Denne vil antageligvis være mere brugbar i kuperet terræn.



Figur 24 - Den relative højdemodel ved siden af RGB-foto. Vandløbet fremstår med mørke farver, som lave værdier.

Beregningen af den relative højdemodel er tilgængelig i Appendiks D1.

Resultatet viser tydelige fordybninger i landskabet, så som vandløb, visualiseret med en mørk farve. Objekter så som veje, der er forhøjet i forhold til omkringliggende landskab, har fået en lys farve.

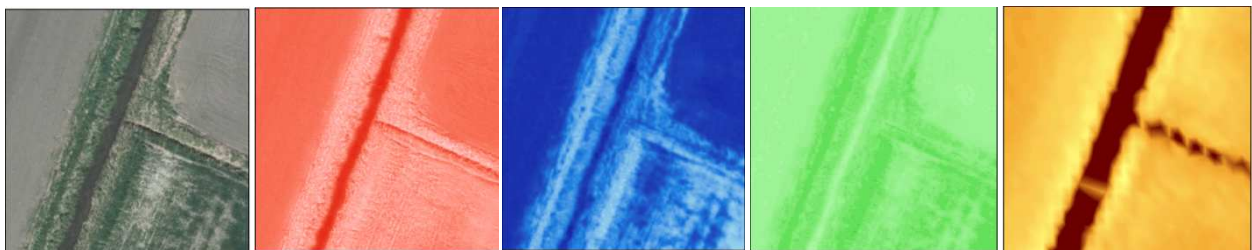
10.1.3 Kombinere bånd

Der er ikke tale om entydige identifikationer af vand ved hverken infrarød, band ratio, NDVI eller det relative højdebånd, dog står vandet skarpt frem i 3 af båndene og vandløbets forløb ses i det relative højdekort. Dermed kan disse samlet set antages at medvirke til en entydig automatiseret klassifikation af vandløb. Ved at benytte flere bånd er der dog den risiko, at hvor vandløb fremtræder tydeligt i nogle bånd, sløres denne information af de andre bånd. Dette kan antageligvis modvirkes ved en vægtning af båndene. Da der imidlertid ikke findes nogen viden om, hvad der bør vægtes højere end andet, vægtes alle bånd lige.

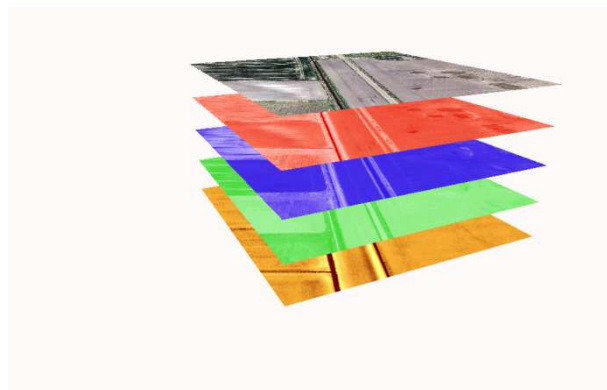
De 3 nye bånd sættes sammen med de eksisterende 4 bånd i ortofotoet, i rækkefølgen:

1. Rød
2. Grøn
3. Blå
4. Nær infrarød
5. NDVI
6. Band ratio
7. Relative højder

I Appendiks D1 er det beskrevet hvordan båndene er sat sammen, og de 7 bånd er illustreret samlet i Figur 25 med RGB farverne kombineret i én.



Figur 25 – Det kombinerede multispektrale fotos bånd. Fra venstre mod højre: R,G,B ; NIR ; NDVI ; Band ratio ; Relativ højde.



Figur 26 - Det kombinerede multispektrale fotos bånd visualiseret som et sammensat foto. Ovenfra og ned: R,G,B; IR; NDVI; Band ratio; Relativ højde

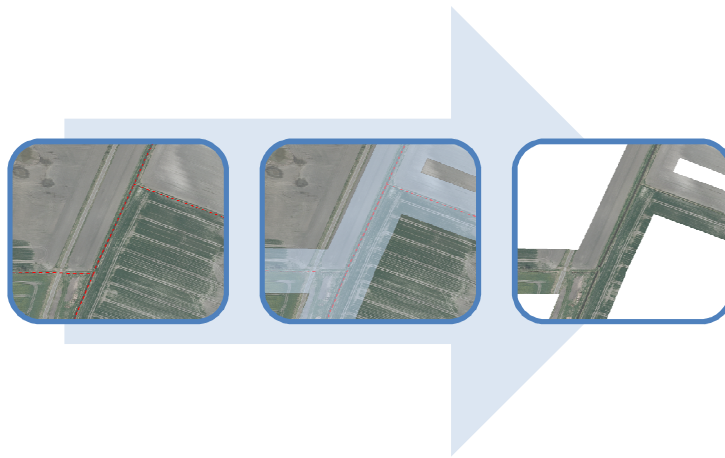
10.2 Definition af søgeområde

Det er af interesse at begrænse søgningen efter vandløb af flere grunde. Dels for at begrænse den datamængde der skal bearbejdes, således at proceduren kan forløbe hurtigere, og dels for på forhånd at fjerne eller minimere områder uden relevans, og herved mindske potentialet for fejlklassificering af ikke-vandløb som vandløb. Omvendt er der risiko for, at der kan forekomme vandløb i de områder der frasorteres, således at fuldstændigheden af vandløb påvirkes.

Der er 2 forskellige metoder til, at begrænse størrelsen af det ønskede område på. Eksempelvis:

Bufferzoner

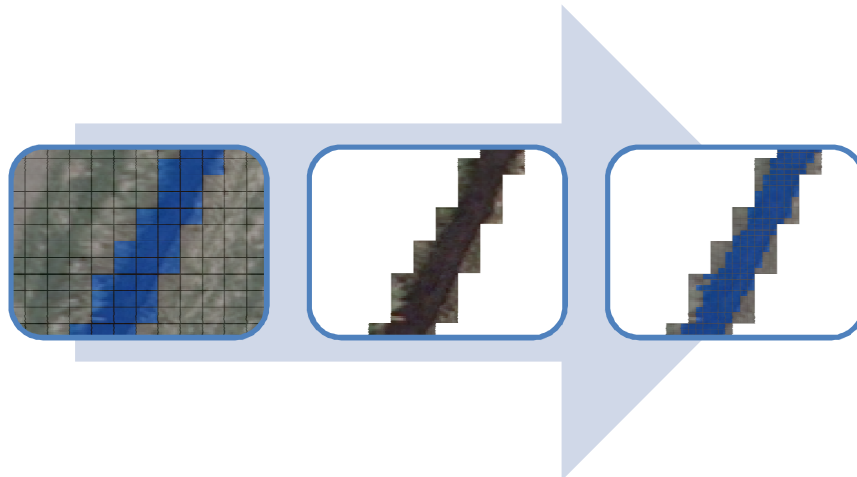
Denne metode bygger på at fjerne områder, hvor der ikke eksisterer vandløb. Ved at definere bufferzoner på baggrund af et eksisterende datasæt begrænses søgefeltet, hvor der forventes at eksistere vandløb, kraftigt. Dette sikrer, at områder uden vandløb ikke indgår i den efterfølgende klassifikation. Omvendt vil nye opståede vandløb eller drængrøfter, der ligger langt fra de kendte vandløb ikke blive kortlagt. Denne metode fungerer bedst til opdatering af allerede kendte forløb med henblik på at identificere forandringer eller eventuelle tilløb, dvs. ikke-kortlagte mindre vandløb og grøfter, der ligger i forbindelse med de allerede kortlagte. I så fald bliver disses tilstedeværelse identificeret og processen gentages iterativt. Image classification kan anvendes til at kortlægge det fulde forløb af vandløbene. Når intet nyt identificeres kan processen ophøre og alle vandløb forventes kortlagt.



Figur 27 - Illustration af processen ved at definere et søgeområde ud fra bufferzoner.

Pyramidebaseret søgning

Ved at anvende en pyramidestruktur i billedet kan datamængden, der gennemses, ligeledes begrænses. Princippet bygger på, at billederne først betragtes i en forholdsvis grov opløsning, og image classification foretages. Derpå udvælges de klassificerede vandløbs pixels, samt de omkringliggende pixels som det nye søgeområde. De omkringliggende pixels inkluderes, da disse kan indeholde vandløb, som blot ikke registreres i den grove opløsning. Det nye område dannes da med en forbedret opløsning og klassificeres igen. Processen kan så gentages indtil den ønskede opløsning er blevet anvendt til klassifikation. Denne metode sikrer, at kun pixels der indeholder vand bliver undersøgt detaljeret. Disse bliver til gengæld også undersøgt med den bedst mulige opløsning. Til gengæld er metoden sårbar da vandløb der er for små til at blive observeret ved den første klassifikation med grov opløsning ikke vil blive kortlagt.



Figur 28 - Illustration af processen ved at definere et søgeområde ud fra pyramide.

Valg af metode

Der er både fordele og ulemper ved begge de nævnte metoder. Ved bufferzonemetoden benyttes eksisterende data, hvorved fejlene i dette datasæt vil påvirke metoden. Ved vandløbstemaet fra FOT (se afsnit 9.4) er det bl.a. et problem, at dette ikke medtager vandløb på under 50m, hvilket giver søgeområdet den samme mangel. Den iterative proces for bufferzonerne muliggør dog at tilstødende små vandløb vil blive kortlagt. Den pyramidebaserede løsning er ikke afhængig af tidligere datasæts fuldstændighed og nøjagtighed. Metoden er dog stadig sårbar overfor isolerede vandløbssystemer, som ikke optræder i den første klassifikation. Disse vil, som ved bufferzone-metoden, ikke blive kortlagt.

Da de to metoder stort set har samme fordele og ulemper, vælges bufferzone-metoden til definering af et søgeområde for kortlægningen af vandløb, da denne metode er den mest simple af de to.

Bufferzonernes omfang

Bufferzonerne udgår fra et eksisterende vandløbstema. Ved proceduren anvendes et vandløbsdatasæt fra FOT, men det kan tænkes, at den færdigudviklede procedure kan producere et resultat, der senere hen kan benyttes som udgangspunkt.

Bredden på de bufferzoner, der benyttes i denne proces er fastsat til 60 m (se Appendix D2 for uddybende forklaring), men denne kan ændres afhængig af det valgte område og de aktuelle vandløb. Søgeprocessen begrænses i praksis ved at begrænse image classification processen til det beregnede område ved, at klippe de områder der ikke er af interesse ud af det samlede foto. Et eksempel på et søgeområde ses i Figur 29.

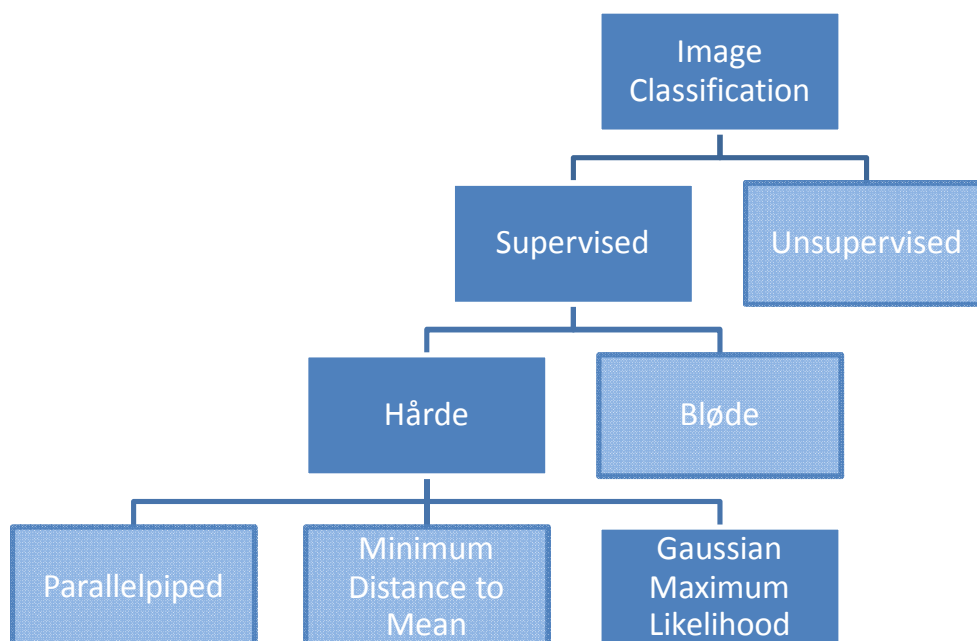


Figur 29 - Eksempel på foto beskåret ved hjælp af buffer ud fra FOT's vandløbsmidte. Stiplet rød: FOT's vandløbsmidte.

10.3 Image classification

Efter begrænsningen af området er det muligt at foretage klassifikationen, hvilket er en metode der bygger på analyse af kombinationen af hvert pixels farvebånd. For uddybende information om image classification, teori og anvendelse henvises til fag- og undervisningslitteratur som f.eks.: (Lillesand, Kiefer, & Chipman, 2008) og (de Jong, van der Meer, & al, 2004).

Image classification er en overordnet betegnelse for en række metoder der alle er baseret på analyse af pixels (se Figur 30 for overblik).



Figur 30 - Oversigt over valget af Image Classification metode.

Image Classification kan generelt inddeles i supervised og unsupervised classification (herefter overvåget og uovervåget), hvor overvåget klassifikation adskiller sig fra uovervåget klassifikation ved at anvende brugerdefinerede klasser, i form af såkaldte træningsområder. Uovervåget klassifikation kan, som navnet antyder, køre næsten uden menneskelig indblanding.

Da formålet med image classification i dette tilfælde er at identificere et bestemt tema – vandløb – er den overvågede klassifikationsmetode at foretrække, da dette muliggør at vandløb tildeles en specifik klasse.

Overvågede klassifikationsmetoder kan inddeles i to overordnede metoder: "hårde" klassifikationsmetoder der kendetegnes ved at hvert pixel henføres til én bestemt klasse og "bløde" klassifikationsmetoder hvor en pixel kan tildeles flere klasser (Lillesand, Kiefer, & Chipman, 2008).

For at opnå et entydigt resultat og en klar bestemmelse af vandspejlskanten, afgrænses der til de hårde klassifikationsmetoder. Ved de bløde klassifikationsmetoder vil det også være muligt at identificere vandspejlskanten ved en efterbehandling, muligvis mere præcist end ved de hårde metoder (Lillesand, Kiefer, & Chipman, 2008). Denne forbedring kan dog antages at være på sub-pixel-niveau (dvs. 0-10cm), hvilket må kategoriseres som ligegyldigt, i forhold til fotoenes nøjagtighed på 80 cm.

Der findes adskillige overvågede hårde klassifikationsmetoder, hvoraf følgende tre beskrives i (Lillesand, Kiefer, & Chipman, 2008):

- *Parallelpiped Classifier*: Denne metode beskrives som værende baseret på spændet af de enkelte båndes værdier inden for hver klasse – dvs. mindste værdi til højeste værdi.
- *Minimum-distance-to-means Classifier*: Minimum afstand til gennemsnit, der beregner et pixels tilhørsforhold ud fra afstanden mellem et pixels værdi(er) og gennemsnittet af hvert båndes værdi for de enkelte klasser.
- *Gaussian Maximum Likelihood Classifier*: Maximum likelihood analysen anvender de samme principper som minimum afstand til gennemsnit, men analyserer samtidig kovariansmatricen, og begge disse værdier spiller ind ved klassifikationen.

Parallelpiped Classifier er en hurtig metode, men må fravælges, da den betegnes som værende sårbar overfor overlap i spændet af værdierne, hvilket ikke kan udelukkes. Minimum Distance to Mean Classifier har den ulempe, i forhold til Gaussian Maximum Likelihood Classifier, at den ser bort fra varianser, til gengæld er den hurtigere. For at opnå det bedst mulige resultat vælges Gaussian Maximum Likelihood Classifier derfor som image classification metode.

10.3.1 Klasser og træningsområder

For en uddybende gennemgang af valget af klasser og træningsområder, se Appendiks D3.

Første skridt i image classification processen er at udvælge passende klasser, som billederne klassificeres ud fra. De 9 valgte klasser er tilgængelige i Tabel 7.

Nummer	Klasse	Farve
1	Større vandløb	Blå
2	Mindre vandløb	Lilla
3	Grøn mark	Grøn
4	Jord mark	Gul
5	Bebyggelse	Orange
6	Skygge	Grå
7	Vandpytter	Cyberblå
8	Sprøjtespor	Svart
9	Træer	Olivengrøn

Tabel 7 - Klasser

For de enkelte klasser skal der herefter udpeges træningsområder. Træningsområderne er en vigtig del af klassifikationen, da de ligger til grund for udarbejdelsen af signaturfilen. Signaturfilen er den fil, som hvert enkelt pixel sammenlignes med og klassificeres efter.

Udvælgelsen af træningsområder er en manuel proces, som afhænger meget af analytikerens kendskab til området og vurdering af klassernes forekomst i området. Der findes derfor uendeligt mange kombinationsmuligheder for træningsområderne. Igennem en række tests (se Appendiks D3) udvælges følgende træningsområder til den efterfølgende klassifikation. De udvalgte træningsområder er visualiseret ved Figur 31.



Figur 31 - Placering af træningsområderne. Farvekodning ses i Tabel 7.

Som det blev fastslået i forbindelse med valg af træningsområderne, arbejdes der med 9 klasser, hvoraf de to udgør vandløbene, og de øvrige 7 udgør klasser på land. De forskellige klasser vægtes ikke i forhold til hinanden grundet manglende viden om den mest sandsynlige fordeling af pixels.

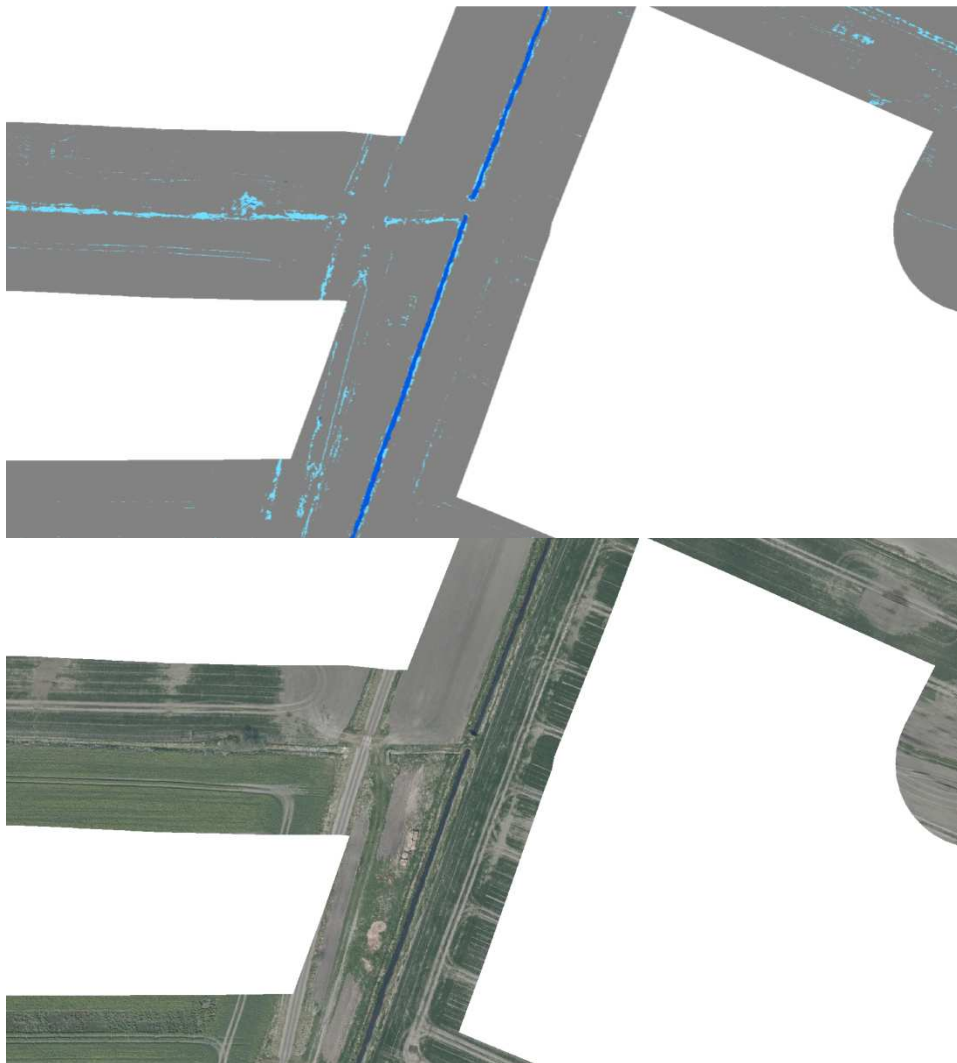
En signaturfil genereres ud fra træningsområderne og fotoet før afgrænsningen af søgeområdet er foretaget (af hensyn til risikoen for, at dele af træningsområderne er skåret fra, og der derved vil indgå "tomme" pixels i signaturfilen). Selve klassifikationen bliver foretaget på det beskærede foto.

Signaturfilen indeholder informationer om de 9 klasser, og er blevet dannet ud træningsområderne. For hver klasse udregnes gennemsnitsværdien for hvert bånd, og en kovariansmatrice opstilles for de syv bånd i hver klasse.

Træningsområderne og deres signaturfil findes i Appendiks J – DVD.

10.3.2 Resultat af klassifikationen

Klassifikationen foretages (Se Appendiks D5 og et eksempel af resultatet ses i Figur 32.) Af hensyn til overskuelighed over resultatet af klassifikationen af vand, visualiseres de 9 klasser desuden opdelt i vand og ikke-vand således at vandløbene, som er de eneste temaer af interesse, kan aflæses tydeligt.



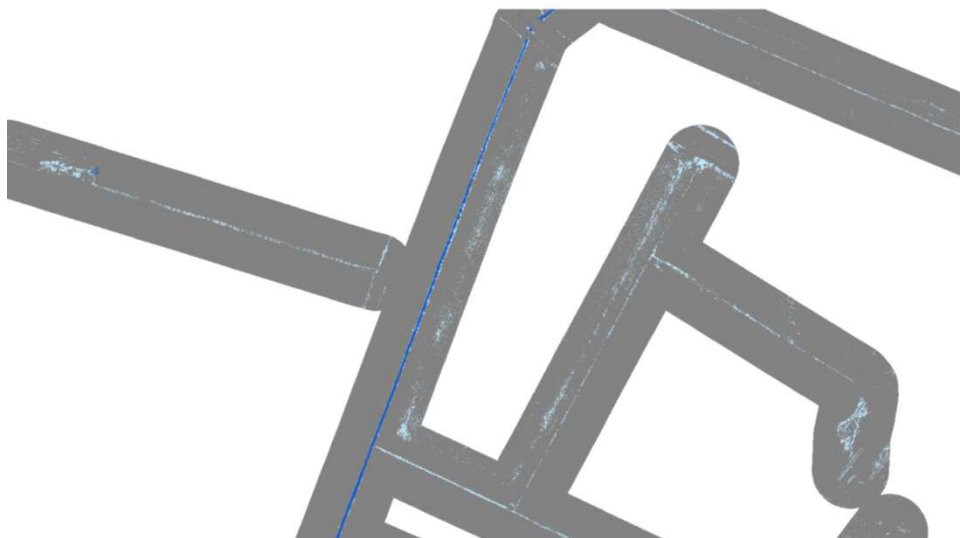
Figur 32 – Eksempel på de to vandløbsklasse ved siden af RGB-foto. Mørk blå: "større vandløb". Lys blå: "mindre vandløb".

10.4 Kvalitetsvurdering af image classification

Resultatet af klassifikationen skal vurderes, da en fejlet klassifikation ikke kan fungere som grundlag for det videre arbejde. Kvalitetsvurderingen kan foretages ved en visuel vurdering og ved at sammenligne klassifikationen med kontroldata og på den måde foretage en nøjagtighedsvurdering.

Disse undersøgelser beskrives i Appendiks D6 – Kvalitetsvurdering.

Der foretages både en beregnet og en visuel vurdering. De beregnede værdier - user's og producer's accuracy indikerer, at de fleste pixels tilhørende de to vandløbsklasser, "større" og "mindre vandløb", også er blevet klassificeret som sådan, men at der er en stor forekomst af falske positive. Dette indikerer en forholdsvis god fuldstændighed, men lav tematisk nøjagtighed i de rå klassifikationsdata.



Figur 33 - Visualisering af klassifikationsresultatet.

Det samme kan konkluderes ud fra de visuelle vurderinger. Vandløbene er blevet kortlagt, men desværre er der også en stor mængde pixels fejlagtigt klassificeret som vandløb. Det er altså nødvendigt med et vist oprydningsarbejde før klassifikationen kan anvendes til grundlag for kortlægningen.

Samlet set vurderes klassifikationen dog tilfredsstillende som grundlag for det videre arbejde, til trods for behovet for efterbehandling.

10.5 Efterbehandling

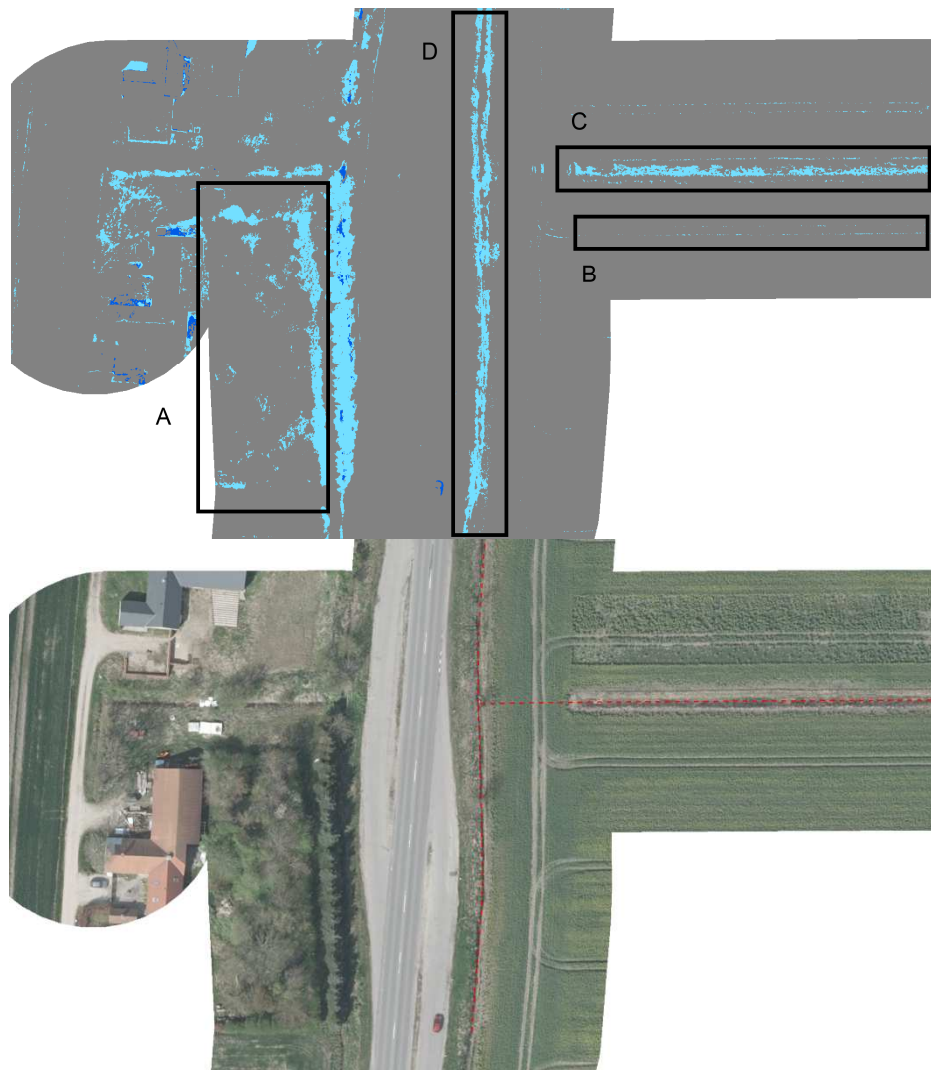
På trods af at resultatet af klassifikationen betegnes som succesfuld er der, som nævnt, stadig problemstillinger ved resultatet:

- Fejlklassifikation af ikke vandløb som vandløb (kaldet falske positive).
- Fragmenteret klassificerede forløb af især de "mindre vandløb".

I forhold til den visuelle vurdering af klassifikationen (se Appendiks D6) konstateres der flere problemområder:

- A. Træer og skygger
- B. Sprøjtespor
- C. Fragmenterede vandløbsforløb (samt potentiel fejlklassifikation rundt om selve vandløbsforløbet)
- D. Regelmæssigforløb med enkelte opdelinger

På Figur 34 er de nævnte problematikker markeret.



Figur 34 - Markering af problemområder i et eksempel af klassifikationsresultatet ved siden af RGB-foto, der indeholder det eksisterende vandløbsdata. Mørk blå: "større vandløb". Lys blå: "mindre vandløb". Stiplet rød: FOT's vandløbsmidte.

Årsagen til disse problematikker kan være fejl i træningsområderne, således at signaturerne for de enkelte klasser er tvetydig. En anden mulig årsag kan være, at der forekommer vandpytter på markerne i eksempelvis sprøjtesporene eller andre lavninger, således at disse områder reelt set også er vand (eller i det mindste fugtig jord), men blot ikke vandløb. Andre problemområder ser ud til at være forårsaget af skygger. Disse elementer deler nogle af vandets egenskaber med lav refleksivitet af lys og skygger er i sagens natur områder der ikke er udsat for direkte belysning, og derfor heller ikke vil reflektere helt så meget lys som kameraet kan opfange.

Det er nødvendigt at tage hånd om disse problemområder for at det er muligt at anvende resultatet i den videre proces.

10.5.1 Falske positiver

I det følgende afsnit præsenteres forskellige løsningsforslag til håndtering af problematikkerne vedrørende de falske positiver.

For en uddybende argumentation for de forskellige foreslåede metoder henvises der til Appendiks D7.

Grundet tidsrammen for rapporten, anvendes ingen af de beskrevne løsningsforslag. Løsningsforslagene kan derfor betragtes som et idekatalog til det videre arbejde.

Metodeforslag til at mindske falske positiver:

- Ændring af inputdata
- Ændring af parametrene for klassifikationen og gentage forsøget. Enten som supplement eller et nyt uafhængigt forsøg på kortlægning
- Majority filter
- Areal filter
- Analyse og anvendelse af konfidensfil og kort
- Smaller bufferzoner (kan begrænse omfang af falske positiver)
- Anvendelse af enkelte lags egenskaber som separat lag, eller med vægtning
- Objekt orienteret klassifikation

Af de beskrevne løsningsmuligheder betragtes objektorienteret image classification som en attraktiv mulighed, da den muligvis kan finde vandløbspixels i samlede forløb og derved identificere vandløb med en højere sikkerhed. Forskellige filtre vil højst sandsynligt kunne benyttes med succes uagtet om image classification metoden ændres. Hvis filtrene kan benytte viden om konfidensfilen, kan det antages, at dette vil kunne styrke filtreringen. En vægtning af visse bånd vil antageligvis også kunne mindske antallet af falske positiver, men dette må samtidig antages at gå ud over fuldstændigheden eller forårsager de fejl, der knytter sig til de højt vægtede bånd.

10.5.2 Fragmenterede klassificerede forløb

I forhold til den usammenhængende klassifikation, så ses det i Figur 34s markering C, at forløbet er let genkendeligt med menneskelige øjne, men som sagt ikke sammenhængende. Problemerne udspringer især af, at de smalle vandløb ikke fremgår tydeligt i fotoet og/eller terrænmodellen. Vandløbenes struktur er synlig, i form af græsbevoksede skrænter i kontrast til de omkringliggende marker, men vandspejlet er ikke selv konstant synligt, hvilket giver problemer for den automatiske klassifikation. Der opstår desuden lignende problemer for både større og mindre vandløb i forbindelse med broer, rørledning og træer der skjuler dele af vandløbet på ortofotoene. I forhold til specifikationerne er problematikkerne ligegyldige for vandløb under 1 m bredde. Det er dog ikke muligt ud fra de fragmenterede klassificerede forløb, at bestemme om denne specifikation er overholdt, hvorfor det ønskes at undersøge metoder til at samle fragmenterne.

Problematikken er altså: Vandløbene er ikke blevet kortlagt som en samlet struktur, men derimod som mindre fragmenter og klynger af pixels.

Der er flere mulige metoder at gribe problemstillingerne an på. Af tidshensyn er det ikke muligt, at afprøve dem i praksis, men en række potentielle metoder er oplistet herunder. Der er tale om

gengangere fra løsningsforslagene ovenfor, men af hensyn til en systematisk gennemgang, medtages de igen.

Metodeforslag til at samle fragmenter:

- Ændring af parametrene for klassifikationen og gentage forsøget. Enten som supplement eller et nyt uafhængigt forsøg på kortlægning.
- Objektorienteret klassifikation
- Majority filters

Hvordan disse metoder kan afhjælpe problematikken med usammenhængende vandløb er uddybet i Appendiks D7.

Uagtet de forskellige løsningsmuligheders effekt må det antages, at der er en øvre grænse for, hvad der kan kortlægges ved image classification. For de "mindre vandløb" må det antages som urealistisk at opnå en vandspejlskant med mindre denne udregnes ved eksempelvis interpolation.

10.5.3 Opsummering af håndtering af fejlklassifikation

Afsnit 10.5 og dertilhørende Appendiks D7, kan betragtes som et idekatalog til håndtering af de beskrevne problematikker.

Med udgangspunkt i betragtningerne i afsnit 10.5 vurderes det, at det ved en efterbehandling af de "større vandløb" vil være muligt at opnå et brugbart resultat for automatisk kortlægning af vandspejlskanten. Modsat har klassifikationen af de "mindre vandløb" ikke givet et brugbart resultat på trods af efterbehandlingen.

Resultatet for de "mindre vandløb" kan ikke benyttes til at kortlægge vandspejlskanten, men kan muligvis stadig benyttes til kortlægning af vandløbsmidten (Se fase 3). Dette kan få konsekvenser for om hele metoden kan køre automatisk.

10.6 Udarbejdelse af vandspejlskant

Det næste skridt er nu, at anvende resultatet af klassifikation til kortlægning af vandspejlskanten, hvilket er beskrevet i Appendiks D8.

Jf. ovenstående er det kun den veldefinerede "større vandløbs" klasse, der er velegnet til kortlægning. Der skal tages forbehold for om denne vandløbsklasse indeholder alle vandløb bredere end 1 m, som krævet i specifikationerne. Er dette ikke tilfældet er produktet ufuldstændigt.

Klassen "større vandløbs" afgrænsning kan anvendes direkte til beregning af vandspejlskanten.

Ved at omdanne pixelklyngerne, af de "større vandløbs" grænser til linjer, fås et vektorbaseret datasæt for vandspejlskantens forløb. Da pixelstørrelsen i rasterfotoet og klassifikationen er på 10 cm x 10 cm er der mulighed for, at der opleves knæk for hver 10. cm, og en grad af generalisering er derfor nødvendig for at gøre data mere håndterligt. Generaliseringen udføres efter principperne om maksimalt tilladt pilhøjde. Den maksimale pilhøjde sættes til 0,5 m, da dette antageligvis ikke vil

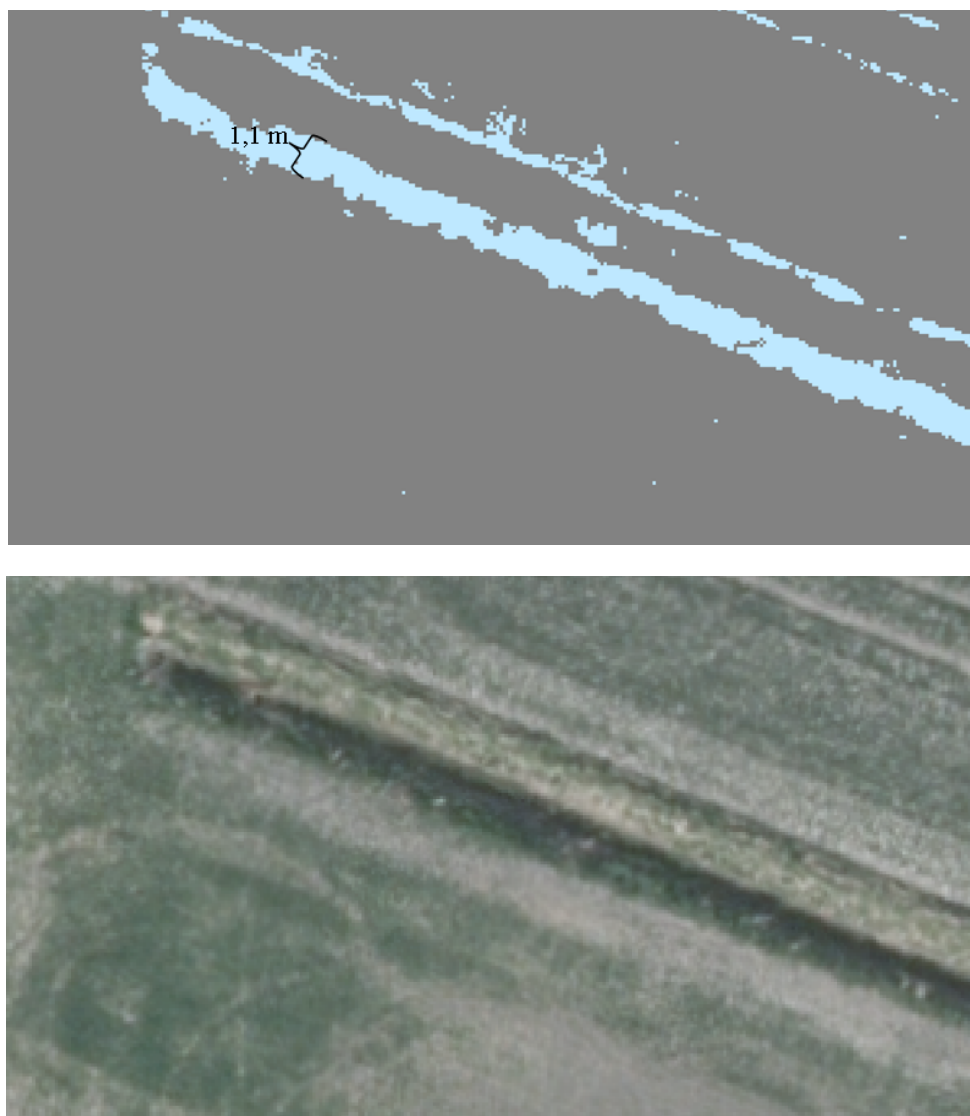
påvirke den overordnede usikkerhed på data i nævneværdig grad, da ortofotoet i forvejen har en spredning på 80 cm (under forudsætning af normalfordeling). $\sqrt{(0,80 \text{ m})^2 + \left(\frac{1}{3} * 0,50 \text{ m}\right)^2} = 0,84 \text{ m}$

Resultatet af visualiseret på Figur 35 (venstre), hvor resultatet ved en visuel vurdering ser fornuftigt ud. Der forekommer enkelte små pletter, som kan antages at kunne fjernes ved de førnævnte filtre. Som visualiseret ved Figur 35 (højre) findes der dog også problemer med de veldefinerede vandløb.



Figur 35 - Eksempel på veldefineret vandløb med enkelte pletter (venstre) og eksempel på usammenhængende vandløb. Begge klassificeret som "større vandløb". Blå: vandspejlskant.

Der findes dog også vandløb, hvor dele af forløbet er bredere end 1 m, der ikke er klassificeret med "større vandløbs" klassen, hvorfor dette udgør et problem der skal løses, hvis metoden skal leve op til kravene i specifikationen.



Figur 36 - eksempel på vandløb over 1 m, der ikke er klassificeret som "større vandløb" ved siden af RGB-foto. Lys blå: "mindre vandløb".

10.7 Resultat

Formålet for fase 2 var at kortlægge vandspejlskanten, for vandløb bredere end 1 m.

Til dette formål blev image classification benyttet, med blandede resultater. Vandspejlskanten for de "større vandløb" er ud fra en visuel vurdering forløbet ganske godt. Desuden er vandløbenes forløb i vid udstrækning tydeligt i kortlægningen.



Figur 37 - Udsnit af produktet vandspejlskant.

Ved en visuel vurdering forekommer det største problem, at være falske positive. Derudover kunne der observeres fragmenter af klassen for "større vandløb" i vandløb smallere end 1 m. Der kan desuden observeres enkelte vandløb på over 1 m bredde, hvor vandspejlskanten ikke er fuldstændigt kortlagt. Til disse problemstillinger er der formuleret løsningsforslag i Appendiks D7.

I Appendiks I findes et kort over de kortlagte vandspejlskanter for hele testområdet.

11 Fase 3 - beregning af vandløbsmidten

I dette kapitel beskrives kortlægningen af vandløbsmidten. Dette sker, ud fra vandspejlskanten kortlagt i fase 2, og for vandløb smallere end 1 m ud fra klassifikationen, jf. Kapitel 7. Derfor opdeles kortlægningen i to dele. Til sidst i kapitlet beskrives en iterativ proces til at finde mulige ukortlagte vandløb, på baggrund af den nye vandløbsmidte.



Figur 38 – Metodeoversigtsfigur.

På grund af kvaliteten af klassifikationen, anses det ikke for muligt at gennemføre en automatisk kortlægning af vandløb smallere end 1 m, ud fra klassifikationsdatasættet i dets nuværende tilstand (se Appendix D6-8). Der er behov for en stor mængde manuel efterbehandling for at klassifikationens data opnår en brugbar kvalitet, men dette er ikke muligt at gennemføre på grund af tidsfaktoren. Derfor tegnes vandløbsmidten for vandløb smallere end 1 m manuelt. I afsnittet opstilles løsningsforslag til hvordan en semiautomatisk kortlægning kan gennemføres.

Kortlægningen ud fra vandspejlskanten for vandløb bredere end 1 m anses for at være muligt, da data er af en rimelig god kvalitet. Dog foretrækkes det for det fremtidige arbejde (se fase 4) at vandløbsmidteproduktet er af samme kvalitet, således at de fremtidige produkter skabes ud fra de samme forudsætninger. Derfor vælges det, at de brede vandløbs midte også tegnes manuel. Der opstilles dog stadig en løsningsmulighed til at kortlægge midten ud fra vandspejlskanten.

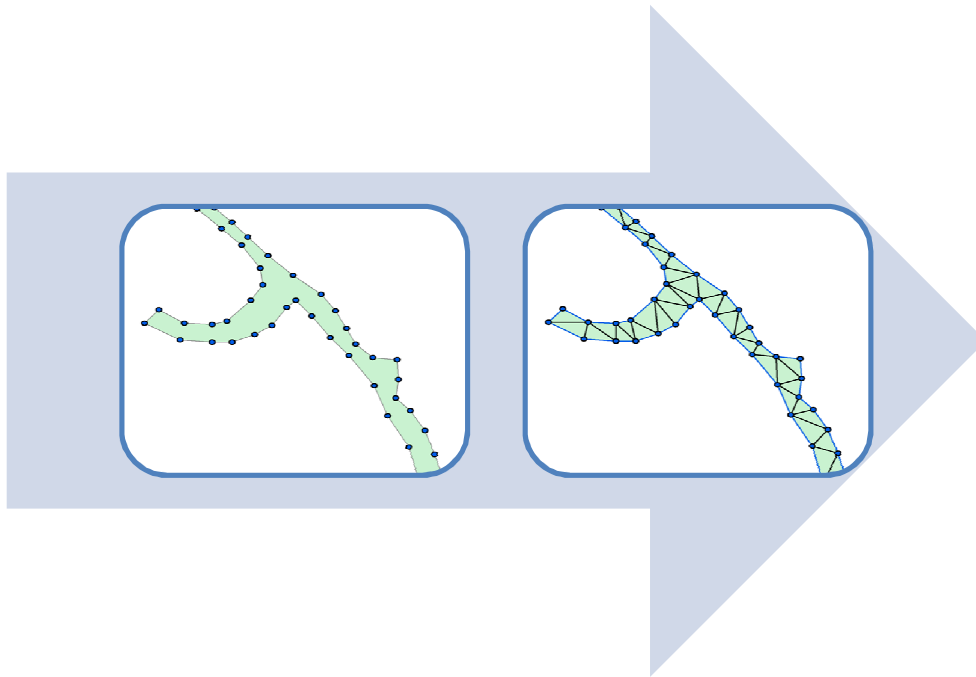
11.1 Metodeforslag til beregning af vandløbsmidten

Princippet bag metodeforslaget til beregningen af vandløbsmidten bygger på, at der udarbejdes en TIN-model begrænset af vandspejlskanten. Der er tale om anvendelsen af en todimensionel TIN-model, da det kun er E og N koordinaterne, der er interessante. Metoden beskrives af følgende skridt og i Figur 39 - Figur 42.

1. Generer TIN-model
2. Udregne midtpunkter på TIN-trekanterne
3. Udpege knudepunkter
4. Samle punkter til linjer

Generer TIN-model

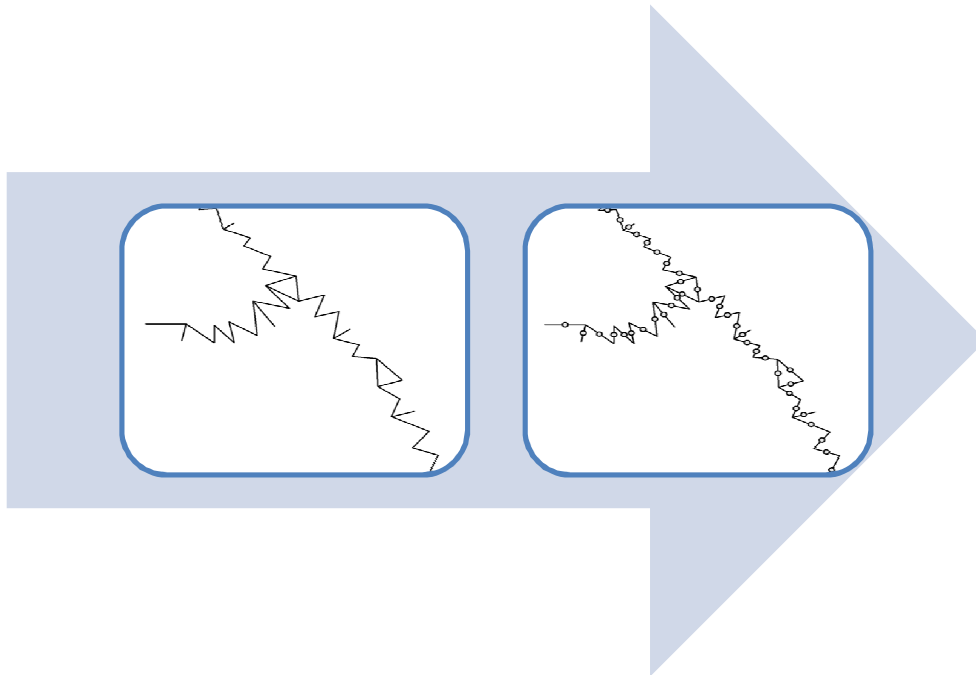
TIN-modellen genereres ud fra punkterne af vandspejlskanten, og er afgrænset af denne (se Figur 39). Brugen af TIN-modellen kræver, at punkterne er korrekt placeret, altså at der ikke ligger nogen punkter i selve vandspejlet.



Figur 39 - Illustration af generering af TIN-model fra vandspejlskantpunkter, således trekanternes sider krydser vandløbet.

Udregne midtpunkter på TIN-trekanter

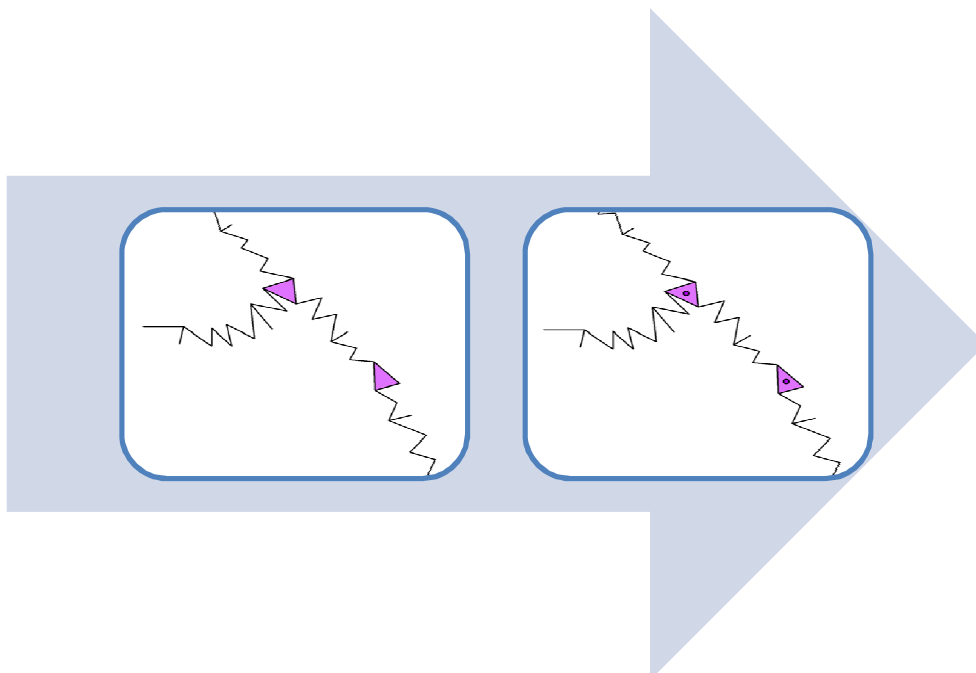
De linjestykker, der overlapper med vandspejlskanterne, fjernes, således at de linjestykker, der krydser vandspejlet er tilbage. Hvert enkelt af disse linjestykkes midterpunkter kan betragtes som et punkt på vandløbets midterlinje (se Figur 40).



Figur 40 - Illustration af udtræk af de linjestykker, der krydser vandspejlet, og generering af midtpunkter på disse linjer.

Udpege knudepunkter

Som det kan ses, kan der stadig forekomme lukkede trekanter omkring tilløbene og udsving i bredden på vandløbet. Disse lukkede trekanter (se Figur 41 til venstre) kan tolkes som knudepunkter for vandløbenes forgreninger, selvom de også blot kan være et mindre udsving i bredden. De rummer under alle omstændigheder muligheder i forhold til sammenknytning af de enkelte delforløb.



Figur 41 - Illustration af identifikation af lukkede trekanter, der udgør forgreninger, og generering af midtpunkter fra disse som potentielle knudepunkter.

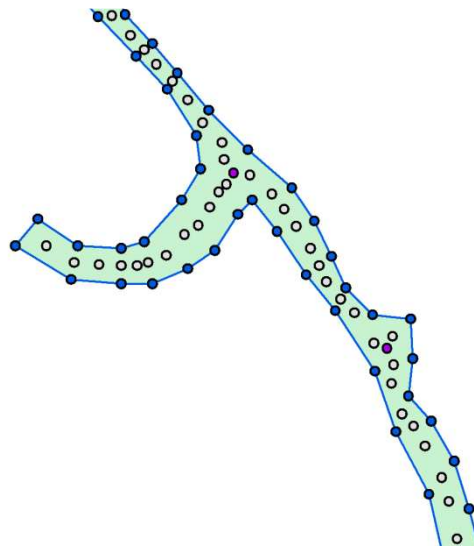
Samle punkter til linjer

For at fuldende kortlægningen af vandløbsmidten, med udgangspunkt i vandspejlskanten, skal midtpunkterne forbindes med linjestykker.

Hvis punkterne gives id'er efter, start- og slut-punkterne i de linjestykker, hvor de ligger midt på, vil punkterne have et id tilfælles og de korrekte punkter kan forbindes med hinanden.

Knudepunkter skal have tre id'er, men skal kun forbindes med midtpunkter, som knudepunktet har to id'er til fælles med.

Således kan vandløbsmidten kortlægges med udgangspunkt i vandspejlskanterne. En illustration af resultatet af metoden findes i Figur 42.



Figur 42 - Illustration af resultatet fra generering af vandløbsmidtpunkter. Gule punkter: vandløbsmidtepunkter. Lilla punkter: knudepunkter. Blå punkter og streg: vandspejlskant.

Som ved de andre produkter bør vandløbsmidtens nøjagtighed kontrolleres og generaliseres, når denne kortlægges.

11.2 Kortlægning af vandløbsmidten ud fra fragmenter

Som nævnt i indledningen af fase 3 er de udarbejdede klassifikationsdata ikke af tilstrækkelig god kvalitet til, at de kan anvendes som datagrundlag for automatisk kortlægning af vandløbsmidten for vandløb smallere end 1 m. Der foretages i stedet en manuel kortlægning med udgangspunkt i klassifikationsdata samt det oprindelige ortofoto.

Det er dog stadig nødvendigt at gøre sig overvejelser vedrørende bearbejdning af de klassificerede data, således at de kan anvendes som datagrundlag for en automatisk kortlægningsmetode.

En uddybende diskussion af forslagene til bearbejdningsmuligheder kan findes i Appendiks E. Diskussionen omhandler ikke bearbejdning af falske positive, da dette behandles i fase 2 (afsnit 10.5.1). Opsummeret omhandler de følgende:

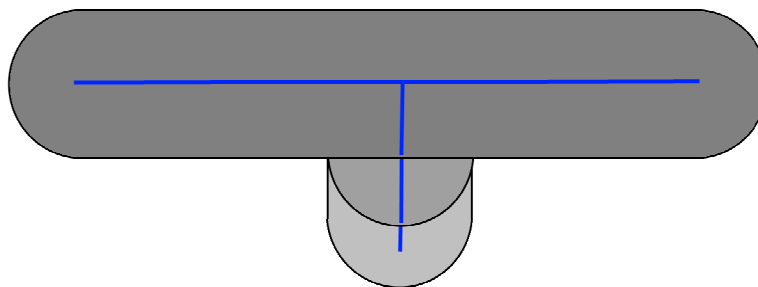
- Identifikation af fragmenternes midtpunkter og betragtning af disse som "punkt-måling"
- Anvendelse af bufferzoner til at samle forløb
- Anvendelse af TIN-model til at samle forløb

Af de tre forslag forekommer metoden med punktmålingen at være den mest attraktive, da alle informationer vurderes, kan vægtes og resulterer direkte i et linjeforløb. Bufferzone- og TIN-tilgangen vil begge blot identificere sammenhængene imellem fragmenterne, og yderligere beregning vil være nødvendigt for at vandløbsmidten er kortlagt.

11.3 Iteration

Som beskrevet i principperne, kan den nye kortlagte vandløbsmidte anvendes til iterativt at forbedre søgeområdet, for metoden. Dette betyder i praksis, at faserne 2 og 3 skal gennemløbes flere gange for at finde vandløb der ikke indgik i det eksisterende datasæt for vandløbene, og herved styrkes fuldstændigheden.

Den iterative proces vil ved klassifikation af vandløb indenfor søgeområdet lokalisere og kortlægge (tidligere) ukortlagte tilløb. Disse tilløb forventes at fortsætte uden for søgeområdet, og krydser derved søgeområdets kant (se Figur 43). Når søgeområdet igen bliver genereret på baggrund af det nye vandløbsforløb, vil det dermed indeholde mere af det aktuelle tilløb, som vil blive kortlagt ved en ny image classification. Hvis tilløbet stadig skærer det nye søgeområde gentages processen; hvis ikke, stoppes processen.



Figur 43 - Illustration af iterationsprocessen. Blå: vandløbsmidte. Grå: Udvidelse af bufferzone.

For hver iteration kortlægges vandspejlskant og vandløbsmidte på ny.

En fuldstændighed på 100 % kan dog ikke garanteres, da der kan forekomme ukortlagte vandløb der ikke ligger i umiddelbar nærhed af de kortlagte vandløb.

11.4 Resultat

På baggrund af klassifikationen blev et samlet forløb af vandløbsmidten tegnet manuelt. Desuden blev løsningsforslag til semiautomatisk kortlægning af vandløbsmidten formuleret.



Figur 44 - Udsnit af produktet vandløbsmidte.

I forhold til de opstillede principper for de to løsningsmuligheder anses metoden med at kortlægge vandløbsmidten fra vandspejlskanterne som en brugbar metode. Derimod vurderes der at være flere problemer tilhørende metoden, hvor klassifikationsresultatet benyttes, da fragmenterne sjældent giver et entydigt billede. Ved denne metode er problemstillingerne især, hvilke fragmenter der skal forbindes, og hvordan disse nye linjestykker skal tilsluttes andre vandløbsmidtestykker.

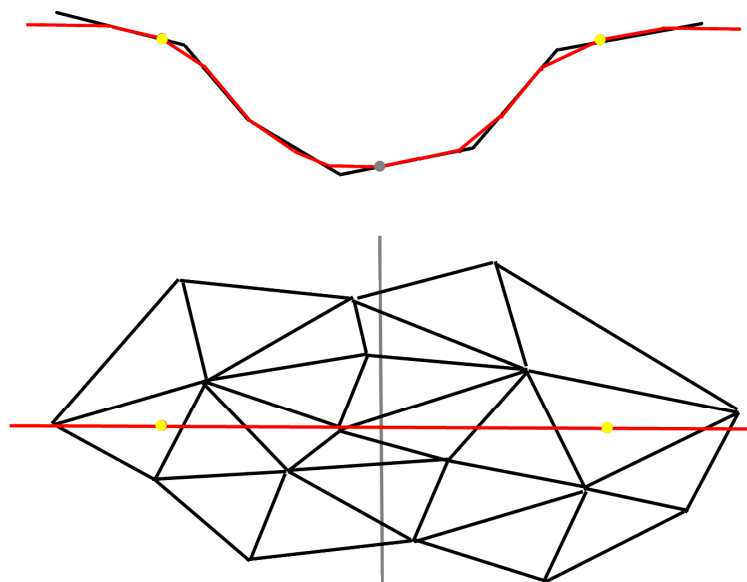
I Appendiks I findes et kort over de tegnede vandløbsmidter for hele testområdet.

12 Fase 4 – kortlægning af kronekanten

Dette kapitel gennemgår overvejelser og valg af metode i forhold til kortlægning af kronekanten. Det blev besluttet, i afsnit 7.5.1 i principperne, at kronekanterne skal beregnes ud fra profiler i TIN-modellen der udgår vinkelret fra vandløbsmidten. Det er nødvendigt at beslutte profilernes udformning før, det kan vurderes, hvorledes kronekanterne kan findes i disse. Herefter kan selve kortlægningsprocessen beskrives og slutteligt vurderes resultatet.



Figur 45 - Metodeoversigtsfigur.



Figur 46 - Illustration af en skæringsprofil, der går vinkelret fra vandløbsmidten og benytter TIN-modellens information til at finde kronekanten. Visualisering af princippet for beregning af kronekanten. Lys grå: vandløbsmidte. Rød: skæringsprofil. Gul punkt: Kronekant

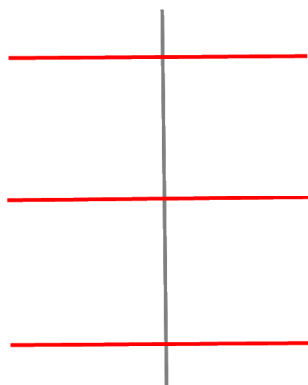
Det profil i TIN-modellen, som kronekanten skal beregnes ud fra, ligger også til grund for produktet skæringsprofil, hvor den eneste forskel er, at produktet skæringsprofil er begrænset af kronekanten (se Figur 47 og Kapitel 7). Derfor er det nødvendigt at beregne profilet i denne fase, til trods for at beslutningen om dennes udformning og parametre egentlig hører hjemme i fase 5.



Figur 47 - Illustration af forskellen mellem det midlertidige skæringsprofil og produktet skæringsprofil. Rød: produktet skæringsprofil. Sort: midlertidig profil.

12.1 Skæringsprofil metoder

I dette afsnit tages valget af skæringsprofilernes udformning. Fra principperne er kravene at skæringsprofilerne skal ligge vertikal på vandløbsmidten og med en vis afstand imellem hinanden, således de repræsenterer vandløbet bedst muligt (se Figur 48). Dette valg træffes i afsnit 12.1.2.



Figur 48 - Illustration af kravene for skæringsprofilet: Vertikal på vandløbsmidten og med en fast afstand imellem hvert profil. Set fra oven. Lys grå: vandløbsmidte. Rød: skæringsprofiler.

Skæringsprofilen kan genereres med forskellige metoder i terrænmodellen ud fra vandløbsmidten. De forskellige muligheder er listet op herunder, og for en yderligere beskrivelse henvises til Appendiks F1.

- Sammenlagte terrænpunkter
- Plan skåret med TIN-model
- Punkter interpoleret

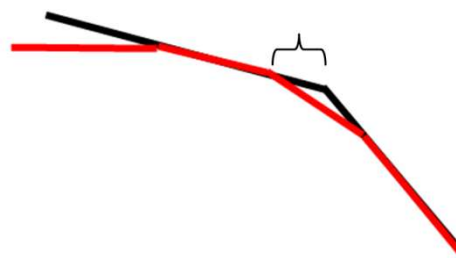
12.1.1 Valg af metode

For at vælge en metode til at lave skæringsprofiler, vurderes deres styrke i forhold til beregningsmængde, tidsfaktor og forventelig placeringen af kronekanten.

Metoden med sammenlagte terrænpunkter giver et generelt billede af skrænternes forløb langs vandløbet og medtager dermed alle terræninformationer for at vise skæringsprofilen og til beregning af kronekanten. På grund af den lave punkttæthed i DTM'en har denne metode den fordel, at der benyttes flere observationer pr. profil.

Metoderne med planer og med interpolerede punkter ligner hinanden til en vis grad, hvor de afbilder terrænet i det aktuelle skæringsprofil. Dermed tager de ikke højde for ændringer imellem skæringsprofilerne. Metoden med planerne viser terrænet bedre end metoden med profilpunkterne, da linjerne i skæringsprofilen følger terræn, hvor profilpunkterne fortolker resultatet (se Figur 49). Det er dog begrænset hvor meget profilpunktets placering og dermed den forventelige fejlplacering af kronekanten har at sige for den overordnede nøjagtighed. Som et eksempel kan en afstand på 0,5m imellem profilpunkter give en maksimal fejlplacering af kronekanten på det halve (se Figur 49), altså 0,25 m. Dette har en begrænset betydning i forhold til TIN-modellens spredning på 1 m i planet, der ligger til grund for alle tre metoder. Hvis de 0,25 m betragtes som 3 gange spredningen for en normal fordeling, til trods for at dette er lige fordelt, kan en simpel fejlforplantning anvendes til at vurdere

effekten af metoden. Usikkerheden øges dermed til: $\sqrt{(100 \text{ cm})^2 + \left(\frac{1}{3} * \frac{50 \text{ cm}}{2}\right)^2} = 100 \text{ cm}$.

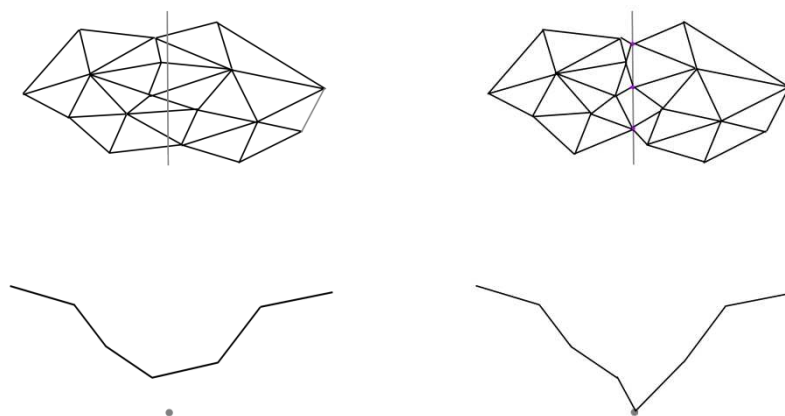


Figur 49 - Illustration af forskellen imellem TIN-modellens og skæringsprofilens placering af kronekant. Rød: skæringsprofil. Sort streg: TIN-model.

Umiddelbart virker metoden med de sammenlagte terrænpunkter, som den løsning, der giver det mest sigende resultat for vandløbets fulde forløb. Denne kræver dog en større udviklingsproces. De to andre metoder er mere lavpraktiske, men giver kun resultater for kronekanten i specifikke skæringsprofiler. Dog har metoden med interpolerede punkter den store fordel, at der allerede er kendskab til anvendelsen, hvorved ressourcerne kan benyttes til at forbedre den efterfølgende kronekantsplacering.

Konsekvenserne ved at vælge metoden med de interpolerede punkter er, at denne bygger på TIN-modellen, hvilket har vist sig at medføre visse problemer (Sørensen, Jensen, & Hansen, 2012). Når højderne interpoleres, bliver dette gjort på en TIN-model, der forbinder terrænpunkterne uden breaklines. Dette giver problemer, hvor TIN-modellen ikke opfanger vandløbet og mister det lavest liggende områder. For at undgå dette problem kan vandløbsmidten fungerer som brudlinje, da vandløbet som en selvfølge er en markant grænse i terrænet, således at TIN-modellens trekanten ikke

krydser vandløbet (se Figur 50). På grund af begrænset mængde tid udelades dette dog, selvom det må forventes at have en effekt på resultaterne.



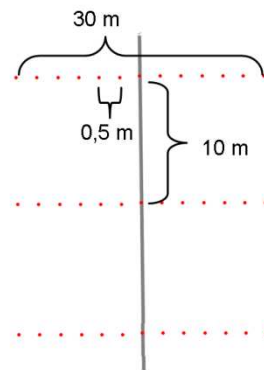
Figur 50 - Illustration af effekten af benyttelsen af brudlinje ved generering af skæringsprofil. Lys grå: vandløbsmidte. Sort trekantede: TIN-model. Rød: skæringsprofil.

12.1.2 Parametre for skæringsprofilerne

Ved at vælge at tage udgangspunkt i skæringsprofiler med interpolerede profilpunkter medfører dette en række valg. Ud fra overvejelser (beskrevet i Appendiks F2) omkring vandløbs naturlige forløb og forhold er de følgende parametre blevet valgt:

Parameter	Forklaring	Værdi
Profilpunkternes udformning	-	Løbende fra yderkant til yderkant.
Hyppighed	Hvor ofte/med hvilket mellemrum skal skæringsprofilerne genereres	10 m
Bredden	Hvor brede skal skæringsprofilerne være /hvor langt væk fra vandløbet skal metoden søge efter kronekanter	30 m (15 m på hver side af vandløbet)
Tætheden	Hvor lang afstand skal der være imellem profilpunkterne i skæringsprofilen	0,5 m

Tabel 8 - Parametre for skæringsprofiler, deres forklaring og værdi.



Figur 51 - Parameter til generering af skæringsprofil. Lys grå: vandløbsmidte. Rød: Profilpunkter.

12.2 Metoder til kortlægning af kronekant

Med de dannede skæringsprofiler er det mulig at identificere kronekanterne i disse. I afsnit 4.2.1 bliver kronekanterne defineret efter randzonenloven som:

"...overgangen fra det skrånende terræn mod vandløbet ... til det flade terræn, der normalt kan jordbearbejdes."

(Lov om randzoner, 2011)

Det er altså nødvendigt at anvende en metode, der vil være i stand til at genkende denne definition i de genererede profilpunkter eller linjestykker, der forbinder disse.

Kronekanten kan findes med forskellige metoder i skæringsprofilet. En række af forskellige muligheder er listet op herunder, og for en yderligere beskrivelse henvises til Appendiks F3.

- Relativ højdeforskel
- Relativ Vinkel
- Absolut Vinkel
- Hældning imellem punkter
- Hældning imellem punkter med TIN-model

12.2.1 Valg af metode

De opstillede metoder har alle en simpel fremgangsmetode og ligner hinanden på mange måder, på trods af at der benyttes forskellige udregninger til at vurdere terrænændringer.

Da det vurderes, at metoden med TIN-modellen kræver stort ekstra arbejde med lille nøjagtighedsforbedring, fravælges denne.

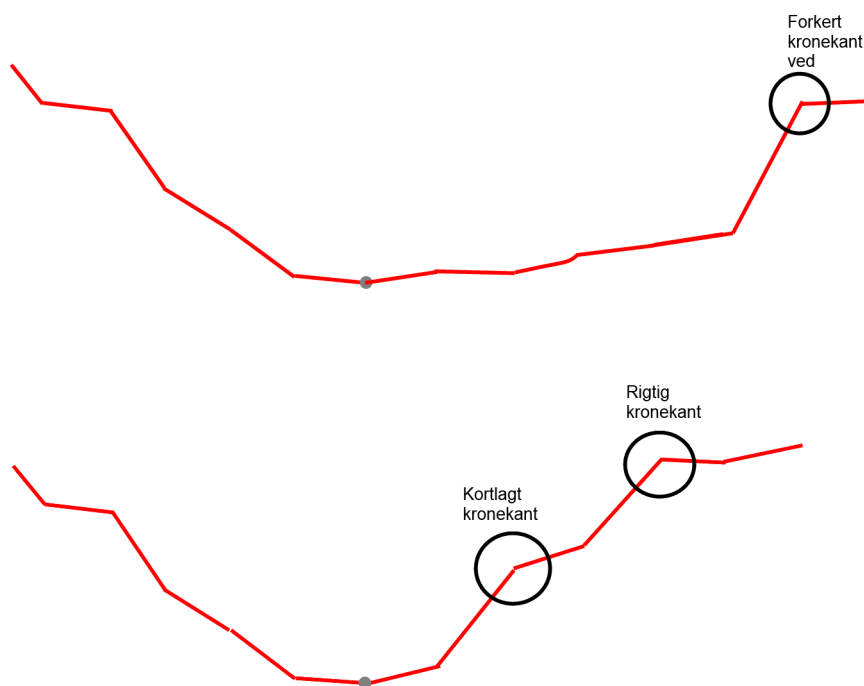
Metoderne med vinklerne fravælges, da disse indebærer udregninger som er beregningstunge. Selvom beregningerne anses at være meget simple, er det dog hurtigere med relationsberegninger i stedet.

Metoden med hældning imellem punkterne fravælges, da denne kun vurderer to på hinanden følgende punkter, og ikke sætter disse i relation til det efterfølgende terræn.

Metoden med relative højdeforskelle har den klare fordel at den erfaringsmæssigt kan benyttes til kortlægning af kronekanterne (Sørensen, Jensen, & Hansen, 2012). Da alle metoderne bygger på det samme datagrundlag, vurderes det, at kvaliteten af deres resultater ikke vil variere nævneværdigt. Metoden med relative højdeforskelle vælges dermed, hvilket også åbner mulighed for, at metoden kan optimeres.

Følgende erfaringer fra (Sørensen, Jensen, & Hansen, 2012) beskrives:

Hvis der i udformningen af vandløbets skråning ikke findes en kronekant, har metoden den ulempe at den udvælger en nærliggende forhøjning som kronekant. Yderligere kan det tænkes, at metoden kan lokalisere en kronekant for tidligt, da den beregner højderelationer fra midten og ud. (se Figur 52).



Figur 52 - Illustration af to situationer med forkert placering af kronekant. Øverst: Placering ved nærliggende forhøjning. Nederst: Placering ved en forkert terrænændring. Rød: skæringsprofil.

Ved de skæringsprofiler, hvor der ikke kan findes en kronekant, bliver et dummy punkt genereret på vandløbsmidten, således der bliver gjort opmærksom på et eventuelt problem. Punkterne ligger i kronekantsdatasættet, men med en separat kode. Hvis proceduren ender med at kunne definere kronekanterne med en god sikkerhed, kan vandspejlskanterne benyttes på de steder, hvor metoden ikke finder kronekantspunkter. På denne måde opfyldes den opstillede definition i Kapitel 4.

En grundlæggende egenskab ved metoden er, at denne er meget afhængig af den valgte grænseværdi, som definerer kronekanten, som beskrevet i Appendiks F5. Grænseværdien blev i (Sørensen, Jensen, & Hansen, 2012) valgt ved at betragte et lille udsnit af skæringsprofiler og derefter valgt den grænseværdi, der ville finde kronekanterne i de valgte eksempler. Dette vælge vurderes at kunne gøres mere systematisk.

12.2.2 Kronekantens grænseværdi

Grænseværdien er den maksimale værdi en højderelation for en kronekant må have. I Appendiks F4 udvælges den optimale grænseværdi for højderelationen, ved manuelt at udpege kronekanten i 50 tilfældigt udvalgte skæringsprofiler, hvilket giver 100 tilfælde (2 kronekanter pr. profil). Herefter testes det, hvilken grænseværdi der giver den største dækningsgrad og ved mindste kvadraters princip de mindste afvigelser.

Det var muligt at identificere en kronekant manuelt i 80 ud af 100 mulige tilfælde. I de resterende 20 tilfælde, var der ingen tydelig kronekant i skæringsprofilet, hvilket kan skyldes TIN-modellen, eller en fejlplacering af vandløbsmidten. På baggrund af testen kan det altså ikke forventes at der kan identificeres kronekanter i mere end 80 % af tilfældene.

Den grænseværdi der gav de bedste resultater var 0,41. Denne grænseværdi gav en RMS på 0,87m, i forhold til de manuelt udpegende kronekanter, og fandt 76 ud af de 80 kronekanter som det var muligt at udpege i de 100 tilfælde.

12.3 Resultat

Resultatet af kortlægning af kronekanterne er visualiseret ved Figur 53. Der er kortlagt 2540 kronekantspunkter og 732 dummy punkter. Dette svarer til at der er identificeret 77 % af de potentielle kronekanter, hvilket stemmer godt overens med erfaringerne fra beregningen af grænseværdien. Som det ses af Figur 53 er det primært på de mindre vandløb, der forekommer dummypunkter, hvilket tyder på at de mindre vandløb er dårligere beskrevet i TIN-modellen.



Figur 53 – Udsnit af produktet vandspejlskant.

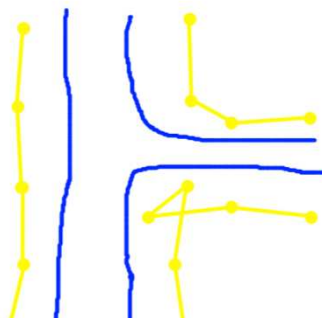
Metoden identificerer kronekanten som punkter, men kronekanten er pr. definition en linje, og punkterne skal derfor forbindes med linjestykker for at fuldføre kortlægningen af kronekanten. Som i fase 3 med vandløbsmidterne, indgår denne operation ikke som en del af denne rapport. Der bliver dog alligevel opstillet forslag til fremtidig håndtering af problematikken.

I Appendiks I findes et kort over de kortlagte kronekanter for hele testområdet.

12.3.1 Forslag til metode til at forbinde punkter med linjestykker

Punkter genereret ud fra samme vandløbsmidte kan forbindes med linjestykker, hvis en attribut med linjestykkets ID gemmes. For vandløbsmidter med sammenfaldende start-slut-punkter kan kronekantspunkterne forbindes med linjestykker.

Dette medfører dog en problematik ved tilløb, hvor der sandsynligvis vil forekomme sløjfer. Disse sløjfer kan muligvis fjernes ved at beregne skæringspunktet i sløjfen, og benytte dette punkt som knudepunkt.



Figur 54 - Illustration af problemet med sløjfer ved kortlægning af kronekanten. Blå: vandspejlskant. Gul: kronekant.

Endvidere skal der tages en beslutning vedrørende dummypunkterne. Dummypunkterne tilkendegiver ikke at der ikke findes en kronekant, blot at der ikke kunne findes en med metoden. Langs vandløbsmidte-linjestykker antages det at dummypunkterne kan ignoreres og kronekantspunkterne blot forbindes, uden at dette nødvendigvis er forkert, se Figur 55.



Figur 55 - Illustration af hvordan dummypunkter kan ignoreres. Gul: kronekant. Lilla: Dummypunkter.

Denne tilgang antages at kunne benyttes for de steder hvor dummypunkterne forekommer sporadisk imellem kronekantspunkter. Der bør dog fastsætte kriterier for, hvornår dette er muligt, uden at dette vil få alvorlige konsekvenser for kortlægningen. Problematikken er sammenhængene med problemstillingen vedrørende, om der findes en kronekant, eller om vandspejlskanten i stedet bør kortlægges.

For visse vandløbsforløb er kronekanten så utydelig, at den næppe kan tegnes, ud fra de tilgængelige data. Hvis der for disse vandløb heller ikke findes en vandspejlskant, hvilket kan antages ofte at være tilfældet, da dummyspunkterne især forekommer ved de mindre vandløb, kan der altså hverken kortlægges en kronekant eller en vandspejlskant. Dette udgør et problem i forhold til definitionerne og specifikationerne, da der skal beregnes randzoner for alle vandløb. Kronekanten kan i disse områder genereres ved at forbindes de kronekantspunkter som findes med linjestykker, eller ved at parallelforskyde vandløbsmidten ved eksempelvis en defineret afstand eller gennemsnitsafstanden fra de kronekantspunkter der findes til vandløbsmidten.

Foruden problematikken vedrørende dummyspunkterne afviger visse kronekantspunkter fra de øvrige kronekants forløb, som illustreret ved Figur 56. Denne problematik behandles i afsnit 14.5.1.



Figur 56 - Eksempel på kronekant afvigere. Gul: kronekant. Lilla: Dummyspunkter.

12.4 Opsamling

Den valgte metode for kortlægningen af kronekanten har en række fordele og ulemper. Fordelene centrerer sig primært omkring enkeltheden og sikkerheden af metoden. Ulemperne knytter sig primært til skæringsprofilet, der ikke udnytter al den viden, der findes om terrænet nær vandløbet. Her fremstår især metoden med at projicere terrænpunkterne på et lodret plan, som mere sigende for området.

Metoden giver imidlertid resultater som ved en visuel vurdering må betragtes som tilfredsstillende, idet kronekanterne tydeligvis fremgår, oftest som ganske homogene forløb. Problemstillingerne ved kortlægningen af kronekanten centrerer omkring dummypunkterne og de kronekantspunkter som afviger fra de øvrige kronekantspunkters forløb. Konsekvensen af afvigelse behandles i Kapitel 14.

Ved forløb hvor få eller ingen kronekantspunkter kan findes, må det vurderes hvilket af følgende tilfælde der gælder:

- Kronekanten forekommer i marken og datasættet. Der er fejl i kortlægningsmetoden
- Kronekanten forekommer i marken, men ikke datasættet - datasættet ikke opdateret eller af lav kvalitet
- Kronekanten forekommer ikke i marken, og vandspejlskanten må i stedet benyttes

Tilstedeværelsen af dummypunkter er ikke ensbetydende med at fuldstændigheden af produktet forringes, med mindre forekomsten af dummypunkter for et vandløbsforløb er så stor, at de tilbageværende kronekanter ikke længere vil kunne beskrive forløbet tilfredsstillende. Ved visuel observation af produktet vurderes dette ikke at være tilfældet, men yderligere kvalitetskontrol af produktet kan findes i fase 6.

13 Fase 5 – kortlægning af skæringsprofiler

Dette kapitel omhandler de metodevalg der er foretaget i forbindelse med kortlægningen af skæringsprofilerne. Ved kortlægningen af kronekanten blev skæringsprofiler genereret som grundlag for identifikationen.



Figur 57 – Metodeoversigtsfigur.

I Kapitel 7 besluttes det at vandspejlet må udgøre bunden af skæringsprofilet, da bunden af vandløbet antageligvis ikke er repræsenteret i TIN-modellen.

Vandspejlet fremgår sandsynligvis heller ikke af datasættet, da der i så fald skulle findes punkter lige ved vandspejlskanten på hvert side af vandløbet, således at disse punkter kan forbindes med en linje. Dette anses dog som usandsynligt jf. afsnit 12.1.

Skæringsprofilet vil derfor ikke indeholde information om, hvad der er vandspejlet, da der ikke kan udtrækkes pålidelig information om dette.

I kapitlet argumenteres først for, hvorvidt de eksisterende skæringsprofiler kan benyttes i fase 5. Herefter beskrives de ændringer, det er nødvendige at foretage, for at datasættet kan benyttes.

13.1 Metode til kortlægning af skæringsprofiler

I fase 4 besluttes det at skæringsprofiler genereres med interpolerede punkter. Fordelene og ulemperne opsummeres her:

Fordele ved den valgte metode:

- Simpel og hurtig beregning
- Kun en lille forringelse af nøjagtigheden (dette er dog afhængigt af en parameter- tæthed mellem punkterne)

Ulemper ved den valgte metode:

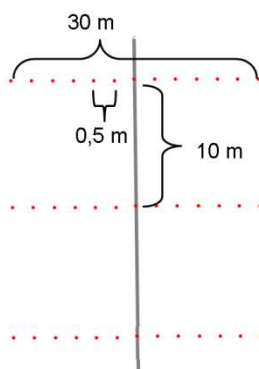
- Udnytter ikke potentialet i TIN-modellen fuld ud
- Afhængig af kvaliteten af TIN-modellen

Metoden er altså simpel og giver relativt gode resultater afhængigt af valget af parametre og datagrundlaget.

Parametrene blev ligeledes besluttet i fase 4, og kan ses herunder:

Parameter	Forklaring	Værdi
Profilpunkternes udformning	-	Løbende fra yderkant til yderkant
Hyppighed	Hvor ofte/med hvilket mellemrum skal skæringsprofilerne genereres	10 m
Bredden	Hvor brede skal skæringsprofilerne være /hvor langt væk fra vandløbet skal metoden søge efter kronekanter	30 m (15 m på hver side af vandløbet)
Tætheden	Hvor lang afstand skal der være imellem profilpunkterne i skæringsprofilen	0,5 m

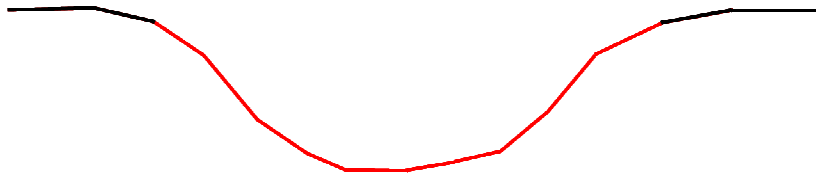
Tabel 9 - Parametre for skæringsprofiler, deres forklaring og værdi.



Figur 58 - Parameter til generering af skæringsprofil. Lys grå: vandløbsmidte. Rød: Profilpunkter.

13.2 Endelig udformning af skæringsprofilerne

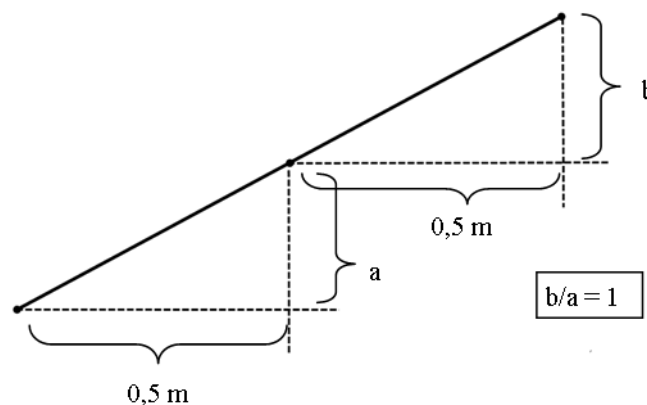
Jf. Kapitel 4 skal skæringsprofilet kun gå fra kronekant til kronekant, hvorfor de genererede skæringsprofiler må beskæres (se Figur 59). Hvis der ikke findes en kronekant i skæringsprofilet, kan skæringsprofilet altså ikke bruges.



Figur 59 - Illustration af forskellen mellem det midlertidige skæringsprofil og produktet skæringsprofil. Rød: produktet skæringsprofil. Sort: midlertidig profil.

Da kronekanterne er kortlagte i fase 4 er dette en relativt simpel operation. Skæringsprofilen udtrækkes som beskrevet i Appendiks J – DVD.

Skæringsprofilet indeholder punkter med en fast afstand, uanset om der forekommer knæk i profilets forløb. Det kan derfor overvejes, om punkter der ligger på samme linjestykke i skæringsprofilen (uden at være et endepunkt) kan udtyndes, da dette ikke vil forringe nøjagtigheden af skæringsprofilen, hvorved datamængden kan reduceres. Disse punkter kan eksempelvis identificeres ved deres højderelation, som vil være 1, som illustreret ved Figur 60.



Figur 60 - Illustration af profilpunkter i skæringsprofilen, der ligger på en ret linje, og som kan sorteres fra.

Jf. Kapitel 4 er afstanden mellem skæringsprofilerne mere end rigeligt til at give et dækkende billede af et vandløbs tracé. Der kan derfor argumenteres for, at datamængden bør reduceres i forhold til specifikationen. Dette vil dog gå ud over detaljeringsniveauet og en metode til at reducere datamængden bør derfor udvælges afhængig af behovet for brugen af data.

Uden et detaljeret indblik i, hvad der vil være optimalt for interessenterne, foretages der ingen reduktion af skæringsprofilerne.

13.3 Resultat

Skæringsprofilernes placering i området er visualiseret ved Figur 61. Som det fremgår af Figur 61 forekommer der strækninger, især langs de mindre vandløb, hvor der ikke er kortlagt skæringsprofiler, da der ikke er kortlagt en kronekant, til at definere skæringsprofilets udstrækning.



Figur 61 – Udsnit af produktet vandspejlskant.

I fase 4 blev der identificeret 1636 skæringsprofiler og i 1040 – 64 % af disse er der identificeret 2 kronekanter. 36% af skæringsprofilerne kan altså ikke medtages i skæringsprofil-produkt, da kronekanterne skal bruges til at afgrænse denne.

Ved visuel kontrol konstateres det at de kasserede skæringsprofiler primært er tilknyttet de mindre vandløb, hvilket antageligvis skyldes at disse er mindre fremtrædende i TIN-modellen. Dette udgør et problem, hvis der er over 50m mellem skæringsprofilerne i forhold til at overholde specifikationerne.

Endvidere er det problematisk, hvis der ikke findes skæringsprofiler for større dele af et vandløb, da vandkapaciteten for hele vandløbet i så fald ikke beregnes. I sådanne tilfælde må skæringsprofilerne enten interpoleres eller ekstrapoleres, hvis tracéet for hele vandløbets forløb skal beskrives.

Hvor ofte disse problemstillinger forekommer, er dog afhængig af TIN-modellen og derfor ikke muligt at forudsige. Problematikken er kontrolleret i fase 6, under kvalitetskontrollen af kronekanter.

I Appendiks I findes et kort over de kortlagte skæringsprofiler for hele testområdet.

14 Fase 6 – kvalitetskontrol

Dette kapitel omhandler kvalitetskontrollen af de fire produkter som er blevet kortlagt ved metoderne beskrevet i rapporten. De fire produkter er:

1. De beregnede vandspejlskanter
2. Den beregnede vandløbsmidte
3. De beregnede kronekanter
4. De beregnede skæringsprofiler

I det første afsnit beskrives det, hvorledes disse fire produkter vil blive kontrolleret, således at kontroldataindsamlingen kan målrettes til dette formål (se Tabel 10). Herefter følger kvalitetsvurderingen af de fire produkter og kvaliteten af produkterne vurderes i forhold til specifikationerne:

	Vandspejlskant	Vandløbsmidte	Kronekant	Skæringsprofil
Geometrisk nøjagtighed	X		X	X
Tematisk nøjagtighed		X		
Fuldstændighed	X	X	X	
Aktualitet				

Tabel 10 - Kontrol af produkterne i forhold til egenskaberne.

Den geometriske nøjagtighed af vandløbsmidten bliver ikke kontrolleret, af to grunde. For det første lykkedes det ikke at udregne vandløbsmidten automatisk på baggrund af klassifikationen. En test af den manuelt udarbejdede vandløbsmidte vil derfor ikke være repræsentativ for metoden. Dertil kommer, at det er planlagt, at vandløbsmidten skal udarbejdes på baggrund af vandspejlskanten for vandløb bredere end 1 m, hvorved der må være en direkte sammenhæng imellem disse to datasæts nøjagtighed.

Den tematiske nøjagtighed er kun relevant i forhold til vandløbsmidten, da denne repræsenterer vandløbets forløb og altså om der er tale om et vandløb eller ej. Denne tematiske nøjagtighed ligger derfor til grund for de andre produkters tematiske nøjagtighed, da disse er beregnet med udgangspunkt i vandløbsmidten

Fuldstændigheden for skæringsprofilerne kontrolleres igennem kontrollen af kronekanternes fuldstændighed, da skæringsprofilet udspændes mellem kronekanterne.

Aktualiteten kan ikke kontrolleres direkte, men kan være en årsag til afvigelser i de tre øvrige kvalitetsmål.

14.1 Kontrolberegninger - fremgangsmåde

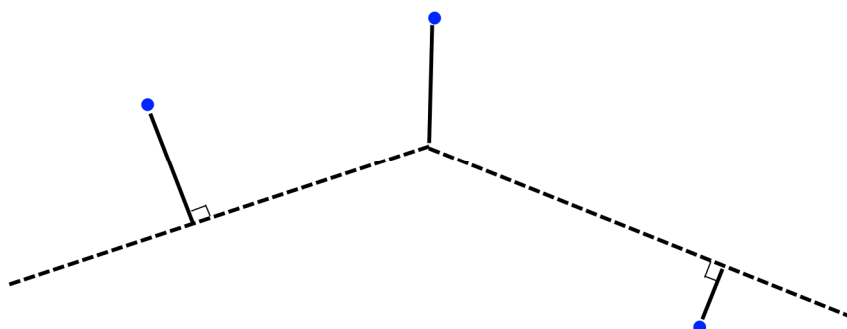
Principperne for kontrolberegningerne skal opstilles, før indsamlingen af kontroldata kan finde sted. Kontrolberegningerne for de enkelte produkter gennemgås i det følgende.

14.1.1 Kontrol af vandspejlskanter

Kontrol af den geometriske nøjagtigheden af vandspejlskanten, vil kun blive foretaget for de "større vandløb", da der ikke er udarbejdet en vandspejlskant, for de "mindre vandløb".

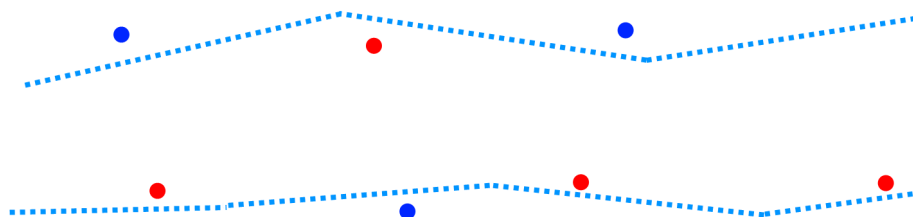
Nøjagtigheden kontrolleres ved, at beregne afvigelser fra de beregnede punkter (knækpunkter i den beregnede vandspejlskant) til den målte vandspejlskant i marken. Vandspejlskanten skal måles i marken som punkter, der skal forbindes med linjestykker.

Afvigelserne beregnes ved den korteste afstand fra punkt til linje, dvs. ortogonalt på linjestykker og ved korteste radius for knæpunkter mellem linjestykker, se Figur 62.



Figur 62 - Illustration af beregningsmetode for afvigelser.

For at identificere en eventuel systematik i afvigelserne beregnes der både positive og negative afvigelser ved at punkter der ligger inde i vandløbet gives negative afvigelser, mens punkter der ligger uden for vandløbet gives positive afvigelser som illustreret ved Figur 63.



Figur 63 - Illustration af forskel på positive og negative afvigelser. Rød: negative afvigelser. Blå: positive afvigelser.

Fuldstændigheden kontrolleres ved at kontrollere, at der ikke forefindes vandspejl bredere end en meter i kontroldatasættet, som der ikke også findes beregnede vandspejlskanter for.

14.1.2 Kontrol af vandløbsmidte

Principielt kan den manuelt tegnede vandløbsmidte testes som produkt, men udførelsen blev foretaget med stort kendskab til området, som en tredjeparts operatør ikke kan forventes at have. Derfor anses kontrollen for ikke at være repræsentativ.

Fuldstændighed og tematisk nøjagtighed for vandløbsmidten kontrolleres ved visuel sammenligning imellem produktet, ortofotoet og de fysiske forhold i marken.

14.1.3 Kontrol af kronekanter

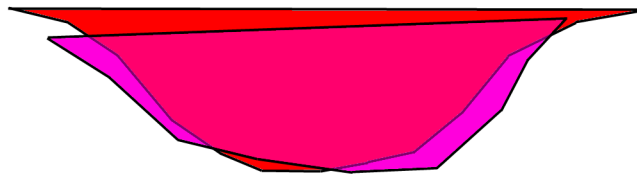
For kronekanterne kontrolleres den geometriske nøjagtighed ved samme metode som vandspejlskanten.

Fuldstændigheden vurderes ved mængden af kronekantpunkter. Visuelt vurderes det, om fraværet af punkter for et vandløb er så stort, at det har indflydelse på fuldstændigheden.

14.1.4 Kontrol af skæringsprofiler

Som det beskrives i specifikationerne vil skæringsprofilernes volumen blive opfattet og håndteret som et areal, og dermed kontrolleres den geometriske nøjagtighed som den relative nøjagtighed af arealet. Den absolutte nøjagtighed kan i forbindelse med de andre skæringsprofiler i vandløbets forløb have en effekt på vandkapaciteten i et vandløb. Denne behandles dog ikke, da den indirekte er kontrolleret ved den geometriske nøjagtighed af kronekanterne.

Kontrollen foretages ved at udregne forskellen imellem arealerne af skæringsprofiler genereret af de to forskellige datasæt, og beregne det areal metoden giver i forhold til det målte areal (se Figur 64).



Figur 64 - Illustration af arealet af to skæringsprofiler. Rød: Beregnede skæringsprofil. Lyse rød: Målte skæringsprofiler.

De beregnede skæringsprofiler skal kontrolleres i umiddelbar nærhed af de målte. Dog kan en præcis placering ikke garanteres, ej heller at målingerne i marken ligger på en ret linje. Dette anses dog ikke at have nogen bemærkelsesværdig indflydelse, da vandløbets volumen ikke ændrer sig voldsomt indenfor få meters afstand.

14.2 Kontroldata

Kontroldata indsamles ved RTK GNSS måling, i slutningen af maj, 2013. De målte kontroldata antages at være sande, hvilket dog er en sandhed med modifikationer, af flere grunde:

- Vandspejlskanten er afhængig af vandstanden og der er altså tale om øjebliksbilleder i begge datasæt. Disse kan begge være sande, men på grund af tidsforskellen kan punktdefinitionen være dårlig.
- Kronekanterne vurderes i Kapitel 14 til ikke at kunne defineres mere præcist end med 10 cm spredning i marken.
- Spredningen på udstyret som typisk har en horisontalspredning på 1-2 cm og en vertikal spredning på 2-4cm (Geoteam)

Disse spredninger er dog ubetydelige i forhold til horisontalspredningen i TIN-modellen, som er angivet til at være 1 m, at de vurderes at have en så lille indflydelse på den endelige spredning på resultaterne, at disse kan ignoreres:

Der skal indsamles kontroldata for både større og mindre vandløb, og det kan antages, at kvaliteten af produkterne vil variere afhængigt af vandløbstypen. De to store vandløb i området og de mindre vandløb imellem disse udvælges derfor af praktiske hensyn. Disse vandløb vurderes at repræsentere diversiteten af vandløbene i testområdet. Endvidere udvælges en række vandløbsforløb, hvor der er uoverensstemmelser imellem det eksisterende vandløbsdatasæt og det beregnede, for at identificere årsagen til disse uoverensstemmelser. Kontroldatasættet skal desuden have en vis størrelse for at kunne betragtes som repræsentativt.

Kontroldataindsamlingen er betinget af lodsejernes accept. Figur 65 viser de område, hvor der er indhentet tilladelse til kontroldataindsamling.



Figur 65 - Kontroldataindsamlingsområdet markeret med grøn. Blå: Vandløb.

De opmålte vandløb er visualiseret i Figur 66, og indbefatter målinger af kronekant og vandspejlskant, som ligger med ca. 20 m mellemrum eller ved knæk i forløbet. 20 m vurderes som værende tilstrækkeligt detaljeret til at beskrive kronekanten og vandspejlskanten, da vandløbene er så godt som rette.

Endvidere er der opmålt 45 skæringsprofiler. For de større vandløb er skæringsprofilerne opmålt omtrent det samme sted, som de beregnede, for at sikre at de to sæt kan sammenlignes. For de mindre vandløb er sammenfaldet ikke planlagt i samme grad, da det planlagte kontrolområde måtte ændres pga. aftaler med lodsejerne. Dette vurderes dog at have en minimal effekt, da der er tale om drængrøfte med homogene forløb. Den maksimale afstand imellem den beregnede og den målte skæringsprofil er 5m.



Figur 66 - Oversigt over opmålte vandløb. I alle tilfælde er der blevet målt: kronekant, vandspejlskant og skæringsprofil.

I marken undersøges endvidere de steder, hvor metoden var usikker, eller hvor resultaterne krævede en visuel vurdering, hvilket blev dokumenteret med fotos.

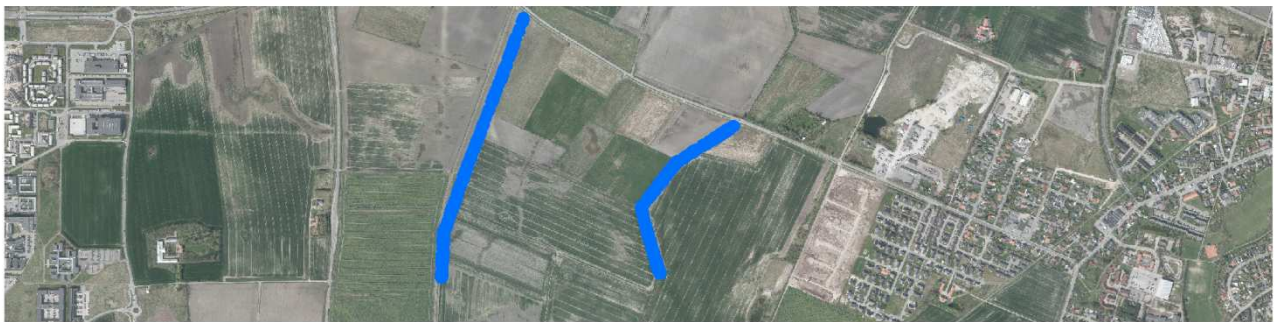
Datasættet fra opmålingen kan ses i Appendiks J – DVD.

14.3 Vandspejlskant

For vandspejlskanten skal der kontrolleres for fuldstændighed samt geometrisk nøjagtighed for de "større vandløb".

14.3.1 Geometrisk nøjagtighed

Som beskrevet i afsnit 14.1.1 kontrolleres kun de "større vandløb". På Figur 67 er de kontrollerede vandløb visualiseret.



Figur 67 – Vandløb, hvis vandspejlskanter kontrolleres i marken.

Tabel 11 indeholder resultaterne af kontrollen af den geometriske nøjagtighed. De komplette tabeller over afvigelserne kan ses i Appendiks J – DVD.

Antal observationer (Beregnete vandspejlskants punkter)	Spredning (RMS) [m]	Maks. afvigelse [m]	Min. afvigelse [m]	Gennemsnit [m]
1156	0,49	0,84	-1,37	-0,36

Tabel 11 – Resultaterne for afvigelserne for vandspejlskanten.

I alt 985 ud af 1156, eller 85 % af punkterne, har negative afvigelser og ligger derfor inden for den målte vandspejlskant.

Afvigelseernes fordeling er visualiseret ved Diagram 1.

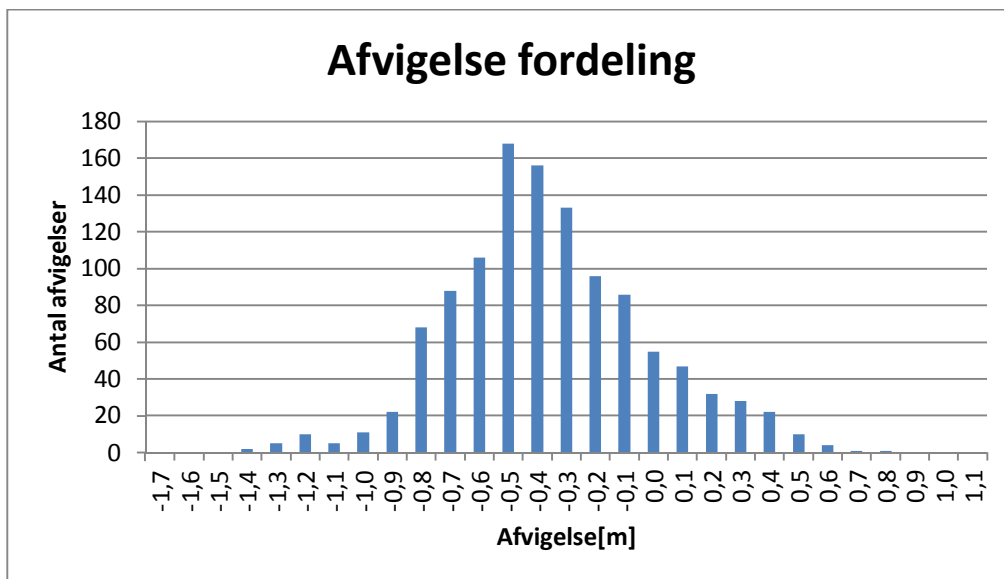


Diagram 1 - Fordelingen af afvigelserne imellem kontroldata og beregnede vandspejlskanter.

I Diagram 1 ses tendenser i retning af en klokkeform der kunne tyde på, at afvigelserne er normal fordelte. Der er dog ikke tale om en normalfordeling omkring 0, men en forskydning således at gennemsnittet bliver -0,36 m. De beregnede vandspejlskanter ligger altså generelt inden for de målte (se Figur 68).

I forhold til de opstillede krav om, at pilhøjden imellem den beregnede vandspejlskant og den målte ikke må overskride 1 m, kan det konstateres at 26 ud af 1156 punkter (2,25 %) af punkterne ligger over den tilladte grænse. Ingen af afvigelserne overskrider 3 gange spredningen.



Figur 68 - Eksempel på, at de fleste beregnede vandspejlskantepunkter ligger indenfor de målte vandspejlskanter. Blå: beregnede vandspejlskant. ys blå: vandspejlskant målt i marken.

14.3.2 Fuldstændighed

I kontrolområdet forekommer vandspejl bredere end 1m, på tidspunktet for kontroldataindsamlingen, som ikke er kortlagt ved metoden. Dette kan skyldes at der var mindre vand i vandløbene på dataindsamlingstidspunktet for de multispektrale fotos, hvilket fordelingen af afvigelserne kunne tyde på. For de vandløb, hvor vandspejlet konstant er bredere end 1 m, er vandspejlet kortlagt.

14.3.3 Opsamling

Vandspejlskanterne er altså blevet kortlagt smallere i beregningen end de forekommer i marken, gennemsnitligt ca. 70 cm smallere. Det er muligt, at dette skyldes at der på dagen for opmålingen var mere vand i åerne end på dagen, hvor billederne blev indsamlet. En anden mulighed er, at klassifikationen har været hæmmet af faktorer som bevoksning der har hængt ud over vandspejlet, og derved begrænset dets synlighed fra luften eller at vandstanden kunne være så lav, at pixlerne i vandløbet har en anden farve. Der er derfor mulighed for, at klassifikationen har kategoriseret disse pixels som jord i stedet for vandspejl.

Tabel 12 indeholder de væsentligste resultater af kontrollen af den geometriske nøjagtighed af vandspejlskanten.

	Spredning [m]	Gennemsnits afvigelse [m]	Maksimal afvigelse [m]	Opfyldelsesgrad
Specifikation	0,33	-	1	100 %
Resultat	0,49	-0,36	1,37	98 %

Tabel 12 - Opsamling på kvalitetskontrollen af vandspejlskanten.

Kun 2 % af de beregnede punkter overskrider grænsen opstillet i specifikationerne, og ingen af afvigelserne er større end 3 gange spredningen, hvilket må opfattes som et godt resultat, selvom det ikke lever 100 % op til kravene. Det skal dog nævnes, at der er sket en omfattende manuel udrensning af de beregnede vandspejlsdata, hvilket kan betyde at kontrolresultaterne er blevet kunstigt gode. Den beregnede kvalitet er altså kun gældende for de steder klassifikationen virker, og der er ikke medtaget alle problemområderne hvor pixels fejlagtigt er blevet klassificerede som vandløb. Grove fejl som følge af fejlklassifikation er stadig et problem selvom det ikke fremgår af testen.

Fuldstændighedskravet for vandspejlskanten vurderes som værende opfyldt, da der for vandløb, der i størstedelen af vandløbets forløb er bredere end 1 m, er kortlagt vandspejlskanter.

14.4 Vandløbsmidten

I dette afsnit behandles fuldstændighedsproblematikken sammen med den tematiske nøjagtighed, altså hvorvidt vandløbets forløb er blevet kortlagt, og om det der er blevet kortlagt som vandløb, nu også er vandløb. Vandløbsmidten sammenlignes med det eksisterende vandløbsdatasæt for at vurdere, om metoden har været i stand til at frasortere, hvad der bør frasorteres og tilføje, hvad der bør tilføjes.

14.4.1 Fuldstændighed og tematisk nøjagtighed

Ved et overblik over testområdet kan det konkluderes, at der er flere steder, hvor der er uoverensstemmelser imellem de vandløb, der er kortlagt ved FOT, og de vandløb der er kortlagt ved fase 3. Dette er forventeligt da metoden netop burde frasortere "vandløb", som ikke er vandløb. Der

findes både eksempler på at metoden har frasortet vandløb fra FOT og eksempler på at metoden har kortlagt vandløb som mangler i FOT.

Vandløb frasorteret ved metode

Figur 69 illustrerer tre eksempler på vandløb som enten er frasorteret ud, eller burde være frasorteret af metoden.



Figur 69 - Områder kontrolleret i marken, med uoverensstemmelse imellem FOT og de beregnede vandløb. Lys grå: vandløbsmidte. Stiplet rød: FOT's vandløbsmidte.

Markeringen A i Figur 69: Som det fremgår af Figur 70 findes vandløbet ikke i marken og metoden har derfor succesfuldt frasortet et vandløb fra FOT.



Figur 70 – Markering A: Vandløbet findes ikke i marken.

Markeringen B af Figur 69: Som det fremgår af Figur 71, er vandløbet i området ikke et vandløb efter definitionen i denne rapport, da der ikke er et tydeligt vandspejl, men det er stadig kortlagt af både metoden og FOT. Det kan naturligvis ikke konkluderes, om metoden har begået en fejl ved at kortlægge "renden" som et vandløb, da der kan have stået vand i renden på tidspunktet for

fotograferingen. Det ser dog ud som om det er en fugtig plovfuge kombineret med at renden fremkommer i den relative højdemodel, der gør udslaget.



Figur 71 – Markering B: Vandløb, der stort set ophører med at eksistere.

Markeringen C i Figur 69: De tre "vandløb" fremgår i marken som det ses af Figur 72.



Figur 72 – Markering C: De tre vandløbslignende render.

Der står vand i hele vandløbets forløb og der er altså tale om vandløb i forhold til definitionen. Der er altså tale om en mangel i forhold til fuldstændigheden. Vandløbene fremkommer ikke i den relative højdemodel, hvilket må antages som værende årsagen til at de ikke er kortlagt ved metoden.

Vandløb tilføjet af metode

Som det fremgår af Figur 73 har metoden tilføjet et vandløb langs jernbanen. Grunden til at hele vandløbets forløb ikke er kortlagt er, at søgeområdet ikke indeholder hele vandløbets forløb.

Eksemplet viser altså det vil være en fordel, at anvende den iterative proces til at udvide søgeområdet, som beskrevet i afsnit 11.3.



Figur 73 - Eksempel på et vandløbsforløb, der er identificeret, men som ikke findes i FOT. Lys grå: vandløbsmidte. Stiplet rød: FOT's vandløbsmidte. Lys blå: bufferzone.

Som det fremgår af Figur 74 er der tale om et vandløb med et tydeligt vandspejl, hvorfor det må konkluderes at metoden i forhold til den givne definition, har virket korrekt.



Figur 74 - Vandløb identificeret ved metoden, men som ikke findes i FOT.

Figur 75 illustrerer endnu et eksempel på et vandløb som er kortlagt ved metoden, men som ikke findes som et vandløb i FOT temaet. Dette eksempel illustrerer behovet for at inddrage "grøft"-temaet i FOT i processen med at definere søgeområderne, da denne "grøft" pr. definitionen i denne rapport, er et vandløb.



Figur 75 - Vandløb identificeret ved metoden, men som ikke findes som vandløb i FOT (er kortlagt som grøft i FOT).
Blå: vandspejlskant.

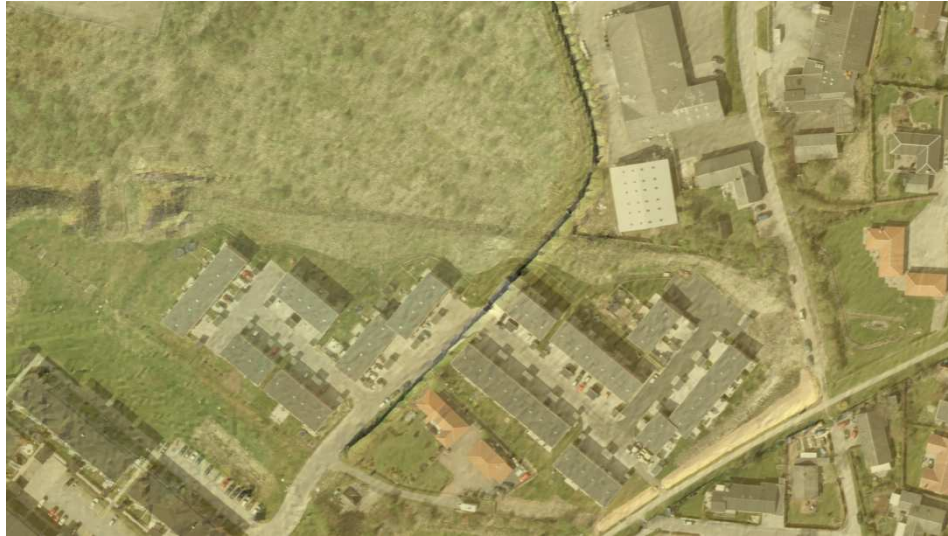
Figur 76 illustrerer endnu et eksempel på en grøft, der af metoden er identificeret som et vandløb. I dette tilfælde har metoden dog begået en fejl, da der ikke er vand i grøften.



Figur 76 - Vejgrøft kortlagt som vandløb.

”Grøften” er kortlagt som et ”mindre vandløb”, hvilken bekræfter usikkerheden af denne klasse. Der kan dog have været vand i grøften på tidspunktet for dataindsamlingen, hvorfor det er vanskeligt at konkludere om metoden har begået en fejl. Fejlen skyldes sandsynligvis kombinationen af skygger fra træerne i grøften, samt dennes fremtræden i den relative højdemodel.

Ligeledes forekommer der problemer, hvor TIN-modellen ikke er aktuel og vandløbene er blevet rørlagt, men stadig fremkommer i den relative højdemodel. Dette problem forekommer primært i byområder og i kombination med erfaringerne fra Kapitel 10, kan det konkluderes at metoden har de største problemer i byområderne. Det er dog også muligt at der er blevet gravet nye drængrøfter i landområdet.



Figur 77- Eksempel på forskellige dataindsamlingstidspunkter. Terrænmodellen viser en fordybning, som burde være et vandløb, men inden fotoet blev taget, er et nyt boligområde blevet bygget.

Opsamling

Afsnittet illustrerer den enorme betydning af klare definitioner, da vandløb kan tage sig ud på meget varierende vis, også i samme vandløbs forløb.

Metodens evne til at frasortere og tilføje vandløb må siges at fungere overordnet set inden for de rammer som opstilles i definitionen af vandløb. Den store problemstilling ses omkring de "mindre vandløb", hvor metoden overså enkelte vandløb. Disse vandløb fremkommer fragmenteret ved klassifikationen, hvorfor det visuelt kan være svært at vurdere, hvorvidt forløbet er blevet kortlagt som vandløb eller ej. Metoden giver dog ganske klare svar, når det kommer til de "større vandløb", hvor forløb kortlagt som vandløb efter definitionen fremkommer som vandløb i marken.

Kravene til fuldstændigheden vurderes dermed ikke som værende tilfredsstillende opfyldt.

14.5 Kronekanten

På samme måde som ved vandspejlskanterne beregnes også afvigelsen imellem den beregnede kronekant og den målte kronekant. I Figur 78 visualiseres de kontrollerede strækninger.



Figur 78 - Vandløb, hvis kronekanter kontrolleres i marken. Lys gul: kronekant målt i marken.

Tabel 13 indeholder mål for afvigelse for kronekanterne. Den komplette tabel over afvigelse kan findes i Appendiks J – DVD.

Antal observationer (Beregnete kronekants punkter)	RMS spredning [m]	Maks afvigelse [m]	Min afvigelse [m]	Gennemsnit [m]	Median [m]
648	1,58*	13,44	-1,88	0,89	0,60

Tabel 13 - Resultaterne for afvigelse for kronekanterne. * afvigelse er ikke normalfordelte.

Det kan desuden observeres, at ud af de 648 observationer, har kun 5 af de beregnede kronekantspunkter negative afvigelse og altså ligger tættere på vandløbsmidten end den målte kronekant. Dette kan muligvis skyldes identifikationsmetoden og at der søges fra midten og udefter, men det er også muligt at TIN-modellens kvalitet og punkttæthed spiller ind. At der er 19 cm forskel på median og gennemsnit indikerer, at datasættet indeholder grove fejl.

Af de 648 observationer overskider de 7 % grænsen for den maksimale afvigelse på 2 m, som er defineret i specifikationerne.

I Diagram 2 ses fordelingen af afvigelse imellem de målte og beregnede kronekanter.

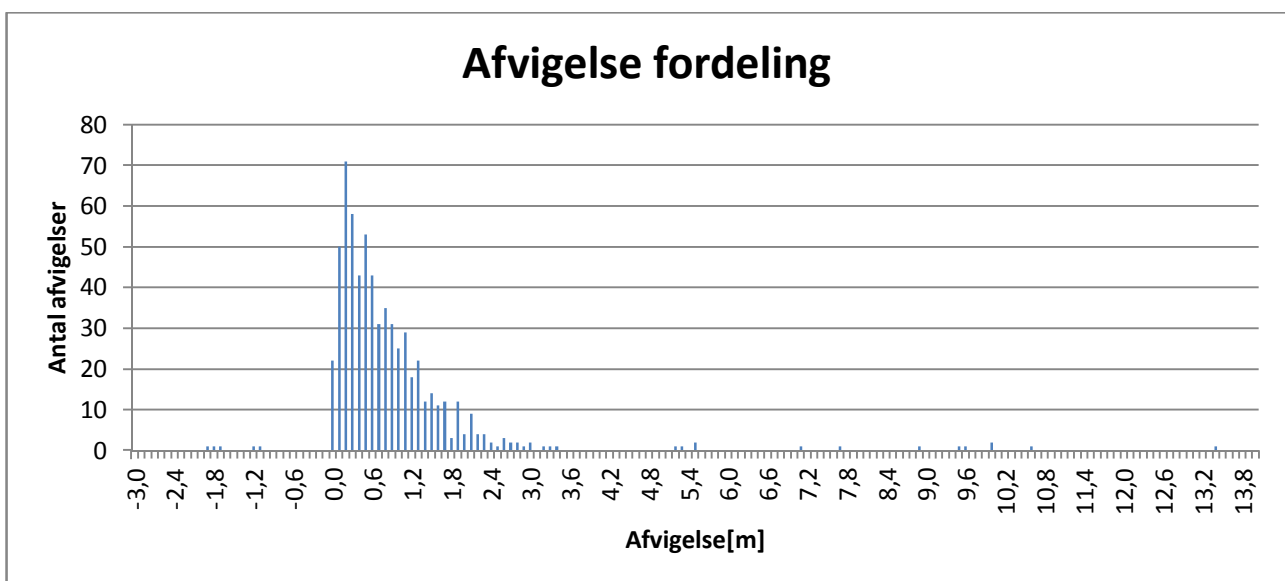


Diagram 2 - Fordelingen af afvigelse imellem kontroldata og beregnede kronekanter.

Det kan ses, at der en klar tendens til at afvigelse størrelse ligger fra 0 til 3,4 m (3,38 m), med enkelte afvigende værdier over og under dette interval.

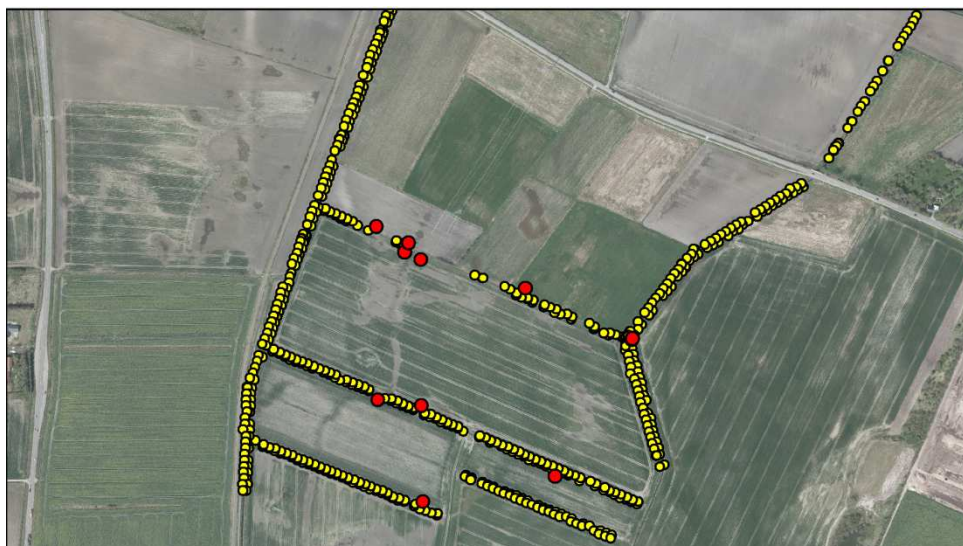
Af Diagram 2 fremgår det, at afvigelse ikke er normalfordelte. Dette kan naturligvis skyldes mængden af observationer, men som beskrevet forekommer der påfaldende få negative afvigelse. Det må derfor konkluderes, at metoden med det tilgængelige datasæt, systematisk vil kortlægge kronekanterne for langt fra vandløbet.

14.5.1 Grove fejl

Jf. specifikationerne, er observationerne med afvigelser over 2 m at regne for grove fejl. Dette medfører at 7 % af observationerne må kategoriseres som værende behæftet med grove fejl. En gennemgang af disse observationer viser dog, at der næppe, i alle disse tilfælde (se Diagram 2), er tale om, at metoden har begået en grov fejl. Fejlene skyldes nærmere datagrundlaget samt metodens konstruktion. I de beregnede afvigelser er der dog observationer som fremkommer som afvigere, i forhold til de resterende observationer, se Diagram 2, da de ligger langt uden for den samlede gruppe. Hvis disse afvigere i stedet betragtes som grove fejl vil det måske være muligt at identificeres specielle forhold der resulterer i disse afvigelser. Hvis sådanne forhold kan identificeres, kan disse muligvis elimineres, eller i det mindste vil det være muligt at sige noget om, hvor metoden har problemer.

Da der ikke er tale om en normalfordeling, kan spredningen ikke ukritisk benyttes til at identificere de grove fejl. Observationer med afvigelser større end 3,5 m vurderes derfor som behæftet med større fejl. Ved denne definition svarer det til at 12 observationer (2 %), er behæftet med grove fejl.

Figur 79 viser en oversigt over placeringen af de kronekantpunkter som antages at være behæftet med grove fejl.



Figur 79 - Kronekantpunkter, som antages at være behæftet med grove fejl (røde). Gul: kronekant.

Af Figur 79 fremgår det at de grove fejl typisk er tilknyttet de mindre vandløb (9 af i alt 12 grove fejl). Dette kan indikere, at fejlen skyldes kvaliteten af TIN-modellen, da højdemodellen er tilbøjelige til ikke tydeligt at beskrive de mindre vandløb.

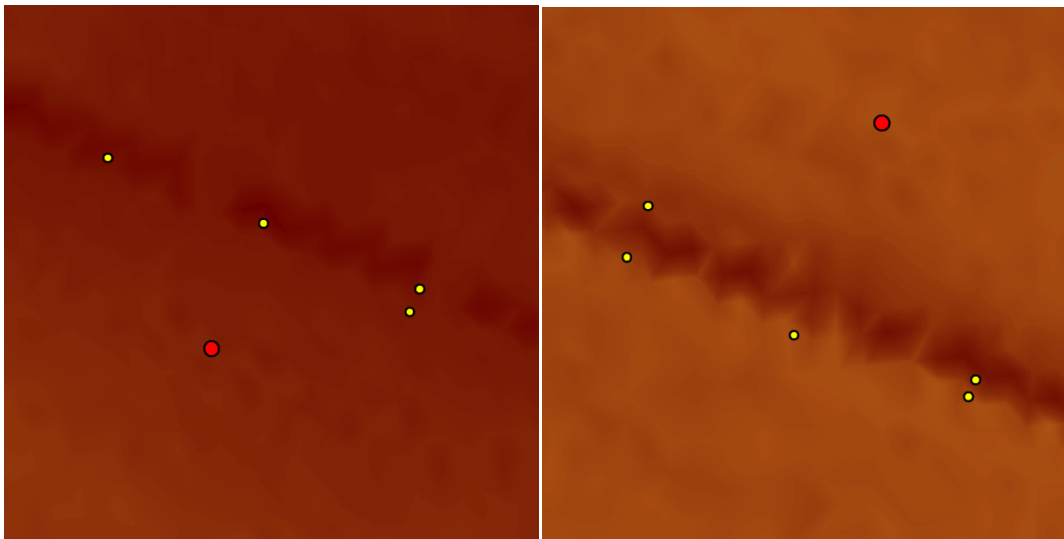
Mulige årsager

Ved nærmere eftersyn af skæringsprofilerne, hvori de fejlbehæftede kronekanter er identificeret, (se Appendiks J - DVD) viser det sig, at vandløbet er ganske tydeligt i nogle af skæringsprofilerne.



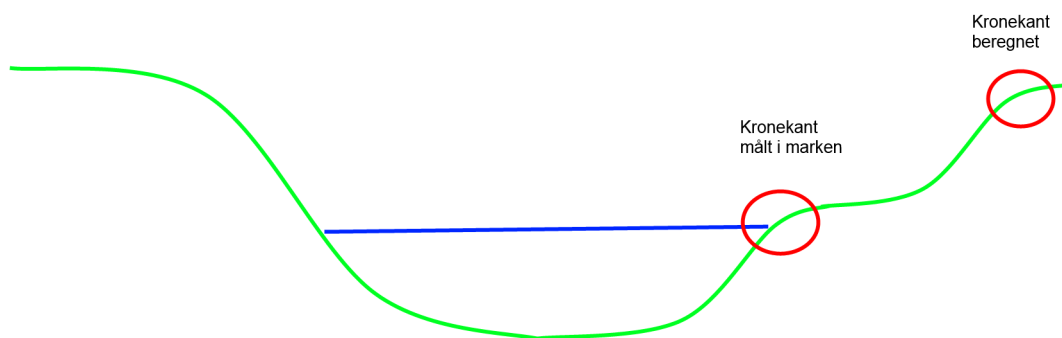
Figur 80 - Eksempel på et skæringsprofil, der tydeligt har en kronekant, men som ikke er fundet af metoden. Rød: skæringsprofil.

Her skyldes fejlen, at det første punkt der lever op til højderelations-kravet ikke vælges, da det ikke lever op til kravet om en absolut positiv højdeændring på 5cm (se Appendiks J – DVD). Fordelingen er således: 5 af 9 tilfælde skyldes kravet om absolut højdeændring. 4 af 9 tilfælde skyldes TIN-modellen. Problematikken er visualiseret ved Figur 81.



Figur 81 - Eksempel på grov fejl, der skyldes TIN-modellen (venstre), og grov fejl, der skyldes kravet om absolut højdeændring (højre). Rød: grov fejl. Rød: skæringsprofil.

For det større vandløb kan årsagen til den grove fejl findes ved at inspicere stedet i marken. Her viser det sig, at situationen er som illustreret ved Figur 82.



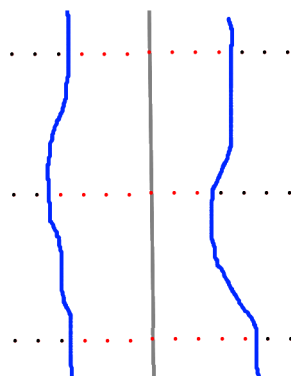
Figur 82 - Illustration af årsagen til den grove fejl på det store vandløb. Grøn: rigtigt terræn. Blå: vandspejl.

Af Figur 82 fremgår det at kronekanten og vandspejlskanten i praksis er det samme i marken. Dette skyldes at åen svinger på stedet, hvorfor åen arbejder sig ind i skrænten på den ene side, mens "skrænten vokser" på den anden side ved aflejringer. Da der imidlertid fremkommer et kronekantslignende profil, er det klart at metoden identificerer dette. Det er altså i høj grad en skønssag, hvorvidt der er begået en fejl eller ej og der er altså tale om et glimrende eksempel på vigtigheden af skarpe definitioner. Eksemplet illustrerer endvidere at der kan være forskel på den kronekant som er interessant for vandkapaciteten og den kronekant som er interessant for randzonenloven og dyrkningsgrænsen.

Mulige løsninger på problematikkerne

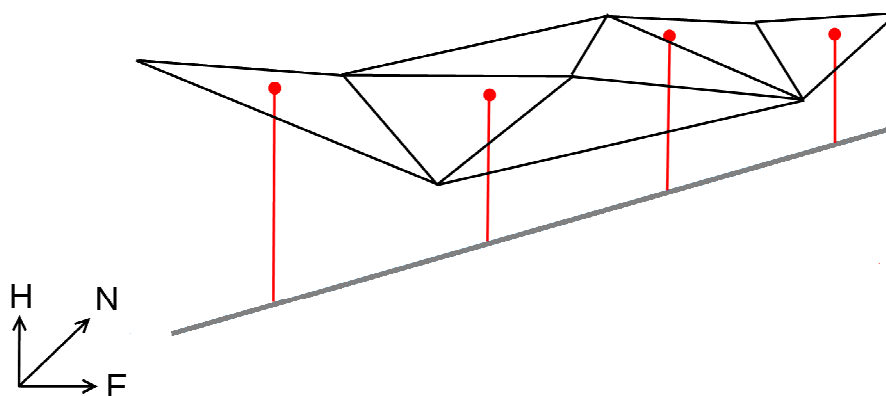
Kravet til den absolutte højdeændring tjener til det formål at sikre, at kronekanten ikke placeres ude i vandet, ved større vandløb, da der for brede vandløb, kan forekomme knækpunkter i skæringsprofilen ude i vandet (se Appendiks F5). Hvis dette kan sikres på anden vis, kan kravet altså bortfalde og metoden bør altså forbedres væsentligt.

En løsningsmulighed kunne være, at benytte det kortlagte vandspejl til at definere et område, hvor kronekanten ikke kan findes (se Figur 83). Denne løsning har den fordel at for netop de brede vandløb kortlægges vandspejlet med relativt god nøjagtighed.



Figur 83 - Illustration af frasortering af skæringsprofilpunkter i vandspejlet, da kronekanten ikke bør identificeres her. Blå: vandspejlskant. Rød: profil punkter i vandløb, der skæres fra. Sort: profil punkter.

Problemet med at de mindre vandløb ikke fremkommer i TIN-modellen, er en forudsigelig problematik (se afsnit 0), der skyldes punkttætheden i højdemodellen. Hvis problemet skal formindskes kræves der enten en ny og bedre højdemodel, eller også at de "manglende" vandløbsforløb, altså der hvor vandløbet ikke fremgår i højdemodellen, kan dannes ved eksempelvis at benytte brudlinjer i TIN-modellen. Brudlinjerne vil eksempelvis kunne genereres ved at beregne vandløbsmidternes koter. Disse koter vil eksempelvis kunne bestemmes ved at interpolere koten i TIN-modellen langs vandløbsmidten og give vandløbsmidten den mindste kote, som illustreret ved Figur 84.



Figur 84 - Illustration af generering af koter for vandløbsmidten.

14.5.2 Opsamling

Datasættet lever altså ikke op til specifikationerne, da 7 % af observationerne overskrider den maksimalt tilladte pilhøjde og da det ikke er muligt at sige noget om, hvor disse 7 % forekommer. Med hensyn til de løsningsforslag der fremlægges for et nedbringe antallet af afvigelser, kan det dog antages, at disse også vil afhjælpe nogle af de observationer, der overskrider pilhøjden på 2 m.

Tabel 14 indeholder de væsentligste resultater af kontrollen af den geometriske nøjagtighed af kronekanten.

	Spredning [m]	Gennemsnits afvigelse [m]	Maksimal afvigelse [m]	Opfyldelsesgrad
Specifikation	0,66	-	2	100 %
Resultat	1,58*	0,89	13,44	93 %
Modifieret resultat	0,99*	0,77	3,38	95 %

Tabel 14 - Opsamlingen på kvalitetskontrollen af kronekanten. * afvigelserne er ikke normalfordelte.

Hvis det viser sig muligt at bortsortere den lille gruppe af grove fejl forbedres resultatet dog bemærkelsesværdigt (se Tabel 14). Der er dog tale om spekulationer og effekten af løsningsforslagene må testes før effekten kan vurderes.

Den valgte metode vil dog ikke kunne leve op til et absolut krav om en pilhøjde på 2 m, selv hvis de grove fejl kan bortsorteres. Det vil derfor være nødvendigt at acceptere en vis fejlprocent, hvis metoden skal anvendes for hele landet.

Betydningen af fejlene, i forhold til brugen af data, er især relevante i forhold til kontrolformål, idet at fejlene næppe vil have den store indflydelse på det areal, for hvilket der skal udbetale compensation i forbindelse med randzonerne. Til kontrolformål vil det imidlertid være et irritationsmoment for kontrolløren at der skal foretages en manuel vurdering af, om de overskridelser af randzonen der givetvis vil forekomme, skyldes at landmanden dyrker jorden i randzonen, eller fejl i kortmaterialet.

14.6 Skæringsprofilet

Kontrollen er foretaget på de 45 skæringsprofiler, der er opmålt i marken (se afsnittet 14.2).

I Tabel 15 opstilles minimum, maksimum og gennemsnittet for de to datasæt, sammen med procentafvigelserne imellem arealerne. De komplette tabeller over arealforskellene kan ses i Appendiks J – DVD, samt i Diagram 3, hvor afvigelserne er inddelt i intervaller på 10 % for at gøre fordelingen mere overskuelig. Procentafvigelserne er både i negative og positive tal, da arealet fra metoden enten kan være mindre (negativ) eller større (positiv) end dem målt i marken.

	Antal observationer (skæringsprofiler)	RMS spredning	Maks. værdi	Min værdi	Gennemsnit
Målte [m ²]	45	-	8,97	0,28	3,96
Beregnete [m ²]	45	-	8,13	0,36	2,74
Forskelle [%]	-	37	78	-72	-25

Tabel 15 - Resultaterne for afvigelserne for skæringsprofilerne.

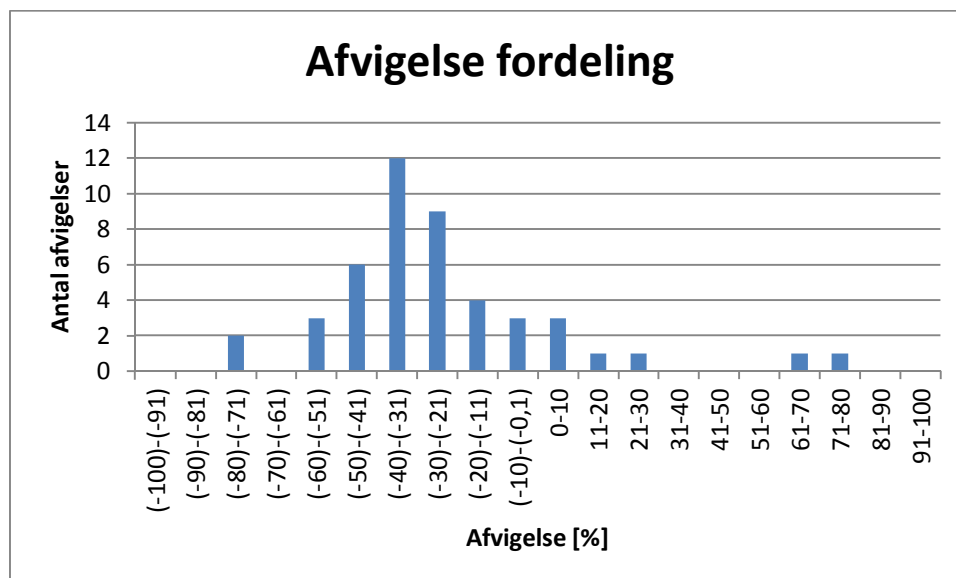


Diagram 3- Fordelingen af de procentvise forskelle i arealerne imellem kontroldata og de beregnede skæringsprofiler.

Som det kan ses af diagrammet ser procentfordelingen ud til at være normalfordelt omkring de -31 % til -40 %. Spredningen er beregnet til 37 %.

39 ud af 45 (87 %) forskelle er negative, hvilket kan tolkes som at metoden har tendens til at lave skæringsprofiler med mindre arealer end de faktiske forhold, og der sandsynligvis er en systematisk fejl i arealerne, da gennemsnitsafvigelsen ligger på -25 %.

I forhold til at den maksimale tilladte afvigelse er sat til 10 % i specifikationer, er en procentvis spredning på resultaterne på 37 % meget voldsom. Dette kan føre til en stor fejlvurdering af mængden af vand, der kan løbe igennem profilet. Antallet af skæringsprofiler, der overholder specifikationskravene, er 6 ud af 45 (13 %), hvilket langt fra er en acceptabel mængde.

Alle procentafvigelser ligger indenfor 3*spredningen (udregnet for gennemsnittet: -135% til 86%) til trods for, at de to afvigelser længst til højre i Diagram 3 (60-80) ser ud til at være outliers. Hvorvidt der er tale om outliers, er svært at sige, når der ikke er flere observationer.

Det undersøges om disse tilfælde har en speciel tendens, der kan knyttes til afvigelsen. Desuden undersøges en skæringsprofil med en afvigelse omkring 0% , for at sikre at denne tendens kun gør sig gældende ved store afvigelser. Derudover undersøges en skæringsprofil i nærheden af den gennemsnitlige afvigelse, for at se hvad der kan forårsage en afvigelse på -25% . Placeringen ses i Figur 85.



Figur 85 - Placering af skæringsprofiler, der undersøges nærmere. Rød: skæringsprofil.

Store afvigelser, A-markeringerne

De afvigelser, som er vurderet som mulige store fejl har procentafvigelser på 78% og 62% . Begge fejl er tilknyttet de mindre vandløb.



Figur 86 - Skæringsprofil A1 med procentafvigelse på 78% . Grøn: skæringsprofil målt i marken. Rød: beregnede skæringsprofil.



Figur 87 - Skæringsprofil A2 med procentafvigelse på 62% . Grøn: skæringsprofil målt i marken. Rød: beregnede skæringsprofil.

Figur 86 og Figur 87 viser tydeligt, at metoden her har genereret skæringsprofiler, der er større end det opmålte. Dette kan skyldes en lav punkttæthed i DTM'en, hvorved det beregnede profil kortlægges for bredt, da definitionen af kanter er meget usikker. De absolutte arealforskelle ligger på 1,00m² og 0,17m².

Med så lave absolutte værdier skal afvigelsen altså ikke være særligt stor, før det kommer til udtryk i store relative afvigelser. Og det kan derfor være svært at vurdere om disse to profiler også har de største konsekvenser i forhold til vandkapaciteten.

Lille afvigelse, B-markeringen

I Figur 88 vises det skæringsprofil, der har den mindste procentvise afvigelse på 1 %. Dette skæringsprofil ligger ved siden af A2-markeringen på et lille vandløb. I forhold til A-markeringerne kan det altså ikke entydigt siges, at de store relative afvigelser knytter sig til de smalle vandløb.

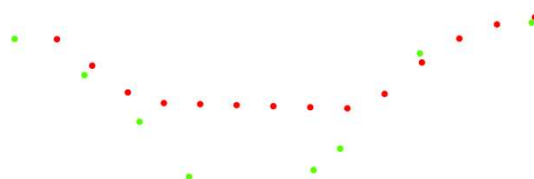


Figur 88 - Skæringsprofil B med procentafvigelse på 1 %. Grøn: skæringsprofil målt i marken. Rød: beregnede skæringsprofil.

Profilet med en afvigelse tæt på nul, viser at den geometriske nøjagtighed er forholdsvis god. Risikoen for at kigge på de arealmæssige afvigelser kan dog stadig anes i figuren, da absolutte arealmæssige afvigelser forskellige steder på et profil kan udligne hinanden. En god overensstemmelse af formen er heller ikke kravet, da det er vandkapaciteten, der er det essentielle i forhold til skæringsprofilerne.

Gennemsnitlig afvigelse, C-markeringen

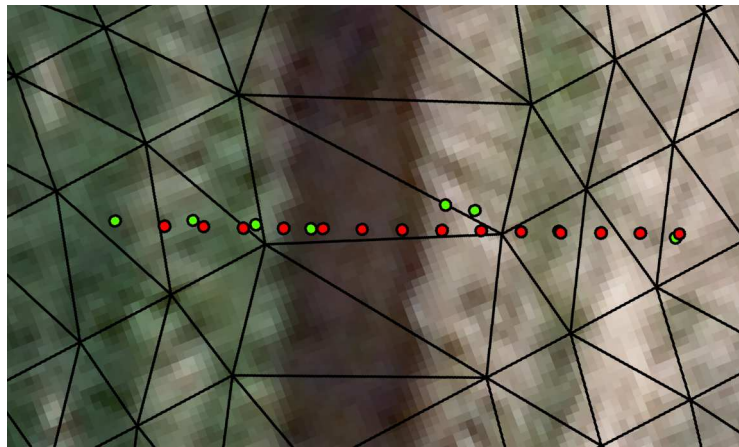
I Figur 89 vises et af de skæringsprofiler, hvor afvigelsen stemmer overens med gennemsnittet. Procent afvigelsen er på -25 %. Skæringsprofilet ligger, i modsætning til de A- og B-markeringerne, ved et af de større vandløb.



Figur 89 - Skæringsprofil C med procentafvigelse på -25 %. Grøn: skæringsprofil målt i marken. Rød: beregnede skæringsprofil.

Profilet viser tydeligt, hvad den store forskel skyldes. Problemet stammer fra midten af vandløbet, hvor metodens skæringsprofiler ikke kommer i nærheden af vandspejlet. Dette problem stammer højst sandsynlig fra TIN-modellen, og det scenarium, hvor TIN-modellens trekanter krydser vandløbet (denne risiko nævnes i afsnit 0). På Figur 90 ses hvordan TIN-modellens trekanter er fordelt over de

udvalgte skæringsprofiler og det ses hvor problemerne opstår. Som nævnt i afsnit 14.5.1 kan dette problem muligvis løses med vandløbsmidten som brudlinje.



Figur 90 – Skæringsprofil C set fra oven. Det ses, at TIN-modellens trekanter krydser vandløbet og DTM'ens punkter ligger et stykke fra vandspejlskanten. De målte punkter ligger længere ind mod vandløbet. Grøn: skæringsprofil målt i marken. Rød: beregnede skæringsprofil. Sorte trekanter: TIN-model.

14.6.1 Opsamling

Skæringsprofilerne lever ikke op til kravene fra specifikationerne, hvor der ønskes at fastlægge arealet indenfor 10 %. Kun 13 % af skæringsprofilerne lever op til kravet, hvilket på ingen måde er acceptabelt.

Tabel 16 indeholder de væsentligste resultater af kontrollen af den geometriske nøjagtighed af skæringsprofilerne.

	Spredning [%]	Gennemsnits afvigelse [%]	Maksimal afvigelse [%]	Opfyldelsesgrad
Specifikation	3	-	10	100 %
Resultat	37	- 25	78	13 %

Tabel 16 – Opsamlingen på kvalitetskontrollen af skæringsprofilerne.

Det skal bemærkes, at der er tale om et meget lille dataudsnit.

Skæringsprofilernes areal kan fastlægges ved hjælp af metoden med en spredning på 37 %. Alle skæringsprofilerne ligger indenfor 3 gange spredningen selvom de enkelte afvigelser, der visuelt på Diagram 3 kan anses som grove fejl, muligvis er acceptable, hvis der indsamles flere observationer.

Med gennemsnitsafvigelse på -25 % kan der ses en tendens i skæringsprofilerne til, at metodens arealer er mindre end de virkelige skæringsprofiler. Dette formodes at hænge sammen med problematikken omkring DTM'en.

Med en gennemsnitsafvigelse og spredning, der er væsentligt større end specifikationernes grænse, ser det ud til at hele datagrundlaget er af for ringe kvalitet til, at det på nogen måde er muligt at opnå et resultat, der overholder specifikationerne. I modsætning til vandspejlskanten er der altså ikke tale om en lille gruppe grove fejl, der ødelægger resultatet.

Det er interessant at observere, at skæringsprofilerne gennemsnitligt kortlægges for små, når kronekanterne generelt, blev kortlagt 0,89 m for bredt. Da kronekanterne udspænder skæringsprofilerne, var det forventeligt, at denne systematiske fejl medførte, at også skæringsprofilernes arealer blev for store. Dette er ikke tilfældet, altså må andre fejlkilder, så som den manglende kortlægning af profilet's nederste del, være af væsentligt større betydning.

15 Konklusion

Udgangspunktet for denne rapport er problemerne med uoverensstemmelse imellem lovgivningen, nærmere betegnet Lov om randzoner, og de data der skal anvendes i forbindelse med håndhævelse af lovgivningen.

15.1 Problemformulering

Hvordan kan remote sensing data, specielt multispektrale billeder og en digital terrænmodel, anvendes til at udarbejde et vandløbsprodukt der omfatter vandløbsmidte, vandspejlskant, kronkant og tværsnitsprofil, og som er i stand til at leve op til de opstillede specifikationer for nøjagtighed såvel som helhedsorientering.

15.2 Forudsætninger / specifikationerne

På baggrund af problemformuleringen og udgangspunktet var det nødvendigt at klarlægge definitionen af begrebet "vandløb". I denne rapport defineres vandløb som:

En klart afgrænset, vandfyldt og aflang terrænfordybning.

Med vandfyldt menes der, at der skal være synligt vand i vandløbets forløb på tidspunktet for dataindsamlingen,

Vandløb omfatter både åbne og rørlagte vandløb.

Specifikationerne blev opstillet på baggrund af de identificerede interessenters behov:

Objektklasse	Geometrisk nøjagtighed	Tematisk nøjagtighed	Fuldstændighed	Aktualitet
Vandløbsmidten	Pilhøjde < 1 m	100 %	100 %	3-5 år
Kronkanten	Pilhøjde < 2 m	100 %	100 %	1 år
Tværsnitsprofilen	Afvigelse < 10 %	100 %	100 %	3-5 år
Vandspejlskanten	Pilhøjde < 1 m	Vandløb > 1 m bredde	100 % > 1 m bredde	3-5 år

Tabel 17 - Specifikationer for produkterne.

Ingen af produkterne kunne overholde alle kravene i specifikationen. Dette uddybes i det efterfølgende afsnit.

Aktualiteten blev ikke testet, da dette er et fremadrettet krav i forhold til opdatering af data.

15.3 Resultat

Efter udarbejdelsen og kontrollen af de 4 produkter, kan det vurderes hvorvidt problemformuleringen er opfyldt. Metoden er god til at kortlægge vandløbene, den kan bare ikke leve op til nøjagtighedsspecifikationerne.

På grund af problemerne med håndtering af de klassificerede data var det ikke muligt at lave en fuldt automatisk metode. Den udarbejdede metode blev i stedet semiautomatisk.

Det kan konstateres, at det er muligt at anvende multispektrale fotos og digitale højdedata til semiautomatisk kortlægning af vandløb. Da produkterne består af vektordata er det ligeledes muligt at tilknytte et ID system, og derved sikre attributkompatibilitet. Metodens produkter kan opdateres ved at tilføje ny data til datagrundlaget. Metoden er derfor i forhold til rapportens definition også helhedsorienteret.

Resultaterne for produkterne i forhold til specifikationerne:

Vandspejlskanten

	Spredning [m]	Gennemsnits afvigelse [m]	Maksimal afvigelse [m]	Opfyldelsesgrad
Specifikation	0,33	-	1	100 %
Resultat	0,49	-0,36	1,37	98 %

Tabel 18 - Opsamlingen på kvalitetskontrollen af vandspejlskanterne.

Den geometriske nøjagtighed kan ikke godkendes.

Fuldstændighed godkendes i forhold til, at vandspejlskanten kun skal kortlægges for vandløb bredere end 1 m.

Vandløbsmidten

Den geometriske nøjagtighed blev ikke testet, ud fra en betragtning om, at den manuelle kortlægning blev udført med et kendskab til området, det ville medføre et kunstigt godt resultat

Fuldstændigheden og den tematiske nøjagtighed godkendes ikke, da der ved vandløb mindre end 1 m forekom enkelte vandløb der ikke var medtaget.

Kronekanterne

	Spredning [m]	Gennemsnits afvigelse [m]	Maksimal afvigelse [m]	Opfyldelsesgrad
Specifikation	0,66	-	2	100 %
Resultat	1,58	0,89	13,44	93 %

Tabel 19 - Opsamlingen på kvalitetskontrollen af kronekanterne.

Fuldstændigheden godkendes da der registreres kronekanter på alle registrerede vandløb.

Den geometriske nøjagtighed godkendes ikke, på grund af overskridelsen af den maksimale tilladte afvigelse.

Skæringsprofilerne

	Spredning [%]	Gennemsnits afvigelse [%]	Maksimal afvigelse [%]	Opfyldelsesgrad
Specifikation	3	-	10	100 %
Resultat	37	- 25	78	13 %

Tabel 20 - Opsamlingen på kvalitetskontrollen af skæringsprofilerne.

Den geometriske nøjagtighed af skæringsprofilerne er på ingen måde brugbar. En yderligere svækkende faktor er, at det på grund af datagrundlaget ikke var muligt at kortlægge de komplette tværsningsprofiler.

15.4 Opsamling

Det er altså ikke lykkedes at opfylde de opstillede specifikationer. Kortlægningen fandt sted, men metodens produkter var af for lav kvalitet til, at interessenterne kan tilfredsstilles.

Der blev observeret en række systematiske fejl i forbindelse med kontrolberegningerne, eksempelvis ved vandløbsmidten og kronekanterne. Hvis disse kan håndteres, eksempelvis ved at kompensere med gennemsnitsafvigelsen, vil det kunne forbedre resultatet.

En anden faktor, der spillede ind, var kvaliteten af den anvendte DTM. Det kunne ses, at problemerne med den geometriske nøjagtighed især knyttede sig til kronekanterne og skæringsprofilerne, der begge er beregnet ud fra DTM'en. En bedre DTM bør derfor kunne forbedre resultaterne.

I forhold til fuldstændigheden af vandløbsmidten, vurderes det, at det vil være svært at forbedre fuldstændigheden nævneværdigt. Det kan overvejes om eksempelvis objektorienteret image classification kan hjælpe med at opnå en mere entydig klassifikation med bedre definerede vandløbs forløb. Det må dog også konstateres at selv med en god opløsning i ortofotoet vil de mindste vandløb stadig være svære at identificere med remote sensing.

Det kunne også konkluderes at image classification generelt har problemer med skygger, og det kan derfor forventes at metodens produkter vil have en ringere kvalitet i bebyggede områder, hvor forekomsten af skygger fra bygninger er stor, samt landområder med skov, plantager og lignende, der også kaster store skygger.

Det er generelt vanskeligt at forholde sig absolut til de smalleste vandløb, og spørgsmål som hvornår forløbet indeholder vand vil være svært at afgøre både i data og i marken. På baggrund af dette, må det konkluderes at en komplet overensstemmelse imellem lovgivning og datagrundlag vil være svært at opnå. Hvis lovgivningen formuleres og forvaltes med hensyn til den tilgængelige data kvalitet, bør overensstemmelsen dog blive bedre.

15.5 Metodens konkurrenceevne

En af forudsætningerne for at foretage en automatisk nykortlægning af vandløb er, at metoden er billigere og gerne bedre end de metoder der findes på markedet.

Metoden konkurrenceevne i forhold til de eksisterende metoder, er for det første meget afhængig af, hvad der skal kortlægges, dvs. definitionerne.

Kortlægningen af vandløbenes forløb er ikke automatisk, og kortmaterialet vil i dets nuværende form, altså kun kunne benyttes til at supplere en manuel digitalisering. Der er dog et stort potentiale for at kortlægning af især større vandløb kan automatiseres.

Den automatiske kortlægningen af vandspejlskanten for vandløb med tydelige vandspejl lever ikke op til specifikationskravene, men er omvendt heller ikke langt fra målet. Denne del vil antageligvis godt kunne udvikles til at konkurrere med manuel digitalisering så som stereofotogrammetri.

Kronekantsproduktet lever ikke op til specifikationerne, og det vil antageligvis være nødvendigt med et andet datagrundlag, eller som minimum modificere det eksisterende. På sigt vurderes metoden dog

at kunne konkurrere med de eksisterende produkter, da den vil forløbe langt hurtigere end ved manuel kortlægning.

15.6 Øvrige kommentarer

Der er stadig arbejde der mangler at blive udført på metoden, der kunne forbedre det endelige produkt. Blandt andet implementering af løsningsforslagene til håndtering af fejlklassifikation, og til automatisk tegning af vandløbsforløbet. Det må erkendes, at det planlagte produkt var for omfattende i forhold til tidshorizonten, hvilket betød at det ikke var muligt at gå i dybden med en række problematikker. Hvis disse problematikker kunne være blevet løst, ville det endelige produkt også have været mere helstøbt. Eksempelvis var det planlagt at kortlægningen af vandløbsmidten foregik automatisk, men måtte foretages manuelt, da der ikke var tid til at rense klassifikationsproduktet i en sådan grad at en automatisk funktion var mulig.

Det ville være en fordel at teste proceduren på et større område, end det forhåndenværende, og derved få mere viden om metodens kvalitet på andre typer af vandløb og landskab.

Generelt vil det være en fordel at afprøve de valgte metoder med et bedre datagrundlag. TIN-modellen var angivet til at have en horisontal spredning på 1 m, hvilket betyder at tre gange spredningen, den normale maksimale grænse for afvigelser, er på ca. 3 m. Det er altså urealistisk at forvente, at dette datagrundlag kan anvendes til kortlægning med en maksimal grænse på 1 m.

Det skal i øvrigt bemærkes, at aktualitetskravet om at kronkanterne skal opdateres årligt ikke kan opfyldes, med mindre der også foreligger en ny DTM årligt.

16 Perspektivering

Perspektiveringen indledes med forslag til grundlæggende forbedringer af datagrundlaget for hele metoden, da dette må anses som den mest grundlæggende ændring der kan foretages for metoden. Endvidere præsenteres alternative benyttelser af de metoder, som udvikles igennem rapporten.

16.1 Datagrundlaget

Kvaliteten af datagrundlaget har igennem hele forløbet haft stor indvirkning på perspektiverne i at producere produkter der kan leve op til de krav der stilles i specifikationerne.

Datagrundlaget kan forbedres enten ved at modificere det eksisterende, eller ved at indsamle nye data.

16.1.1 Modificere det eksisterende datagrundlag

Punktætheden i den digitale terrænmodel er i flere tilfælde årsag til, at resultatet af kortlægning af de forskellige produkter ikke lever op til specifikationerne. Som beskrevet vil både vandløbsmidten, og vandspejlskanterne for de brede vandløb, kunne benyttes som brudlinje, hvis denne gives en kote. Dette vil antageligvis forbedre nøjagtigheden at kronekanterne og mindske antallet af grove fejl.

Med denne nye og antageligvis forbedrede TIN-model kan ortofotoet med fordel genberegnes.

16.1.2 Nyt datagrundlag

Datagrundlaget kan naturligvis også forbedres ved at foretage dataindsamlingen igen med nye og bedre udstyr under bedre forhold. Datagrundlaget kan også forbedres med nye indsamlingsmetoder.

DTM ved droner

Droner kan benyttes til at generere en detaljeret DTM langs vandløbene. Disse data vil kunne bruges til at forbedre alle aspekter af kortlægningen af vandløb.

Flere datainput

Datagrundlaget kan suppleres med flere inputdata, der måske vil kunne bidrage med at kunne identificere vandløb mere entydig i image classification proceduren.

Dette kan eksempelvis være billeder fra alle fire årstider, da vandløb kan antages at adskille sig fra deres omgivelser på forskellig vis, alt efter årstiden.

Flere bånd vil ligeledes kunne medvirke til en mere entydig identifikation af vandløb. Dette kunne være både passive og aktive registreringsmetoder, hvor Radar kan nævnes blandt de aktive.

Bathymetry

Et grundlæggende problem for kortlægningen af vandløbenes kapacitet er, at der ikke findes data indsamlet, ved remote sensing, under vandspejlet, hvilket udgør en naturlig begrænsning i beregningen af denne. LiDAR kan med tiden muligvis benytte til at kortlægge bunden af vandløbene. Alternativt kan båd-droner med sonar-udstyr muligvis benyttes til at kortlægge bunden af de vandløb, hvor dronen kan sejle.

16.2 Alternativ benyttelse af metoder

De metoder der er præsenteret igennem rapporten er alle udviklet med henblik på at kortlægge vandløb, men metoderne kan formentlig også benyttes til at kortlægge andre forhold.

Image classification har uanede muligheder for kortlægning af specifikke forhold. Image classification er dog dybt afhængig af datagrundlaget, og i tilfældet ved denne rapport er den relative højdemodel det primære nye datainput der er af interesse.

Principielt kan den relative højdemodel benyttes til at kortlægge alt der afviger fra dets omgivelser i højden. Afhængigt af kvaliteten af den originale højdemodel kan dette eksempelvis være huller i veje. Gravhøje eller glemte templer i jungler vil ligeledes kunne identificeres ved hjælp af den relative højdemodel.

Af fysiske terrænformationer der minder om vandløb kan floder og søer naturligvis nævnes. Afhængigt af størrelsen på det område højden observeres relativt i forhold til, vil floder og søer nok få et anderledes udtryk i den relative højdemodel.

Af andre fysiske terrænformationer der minder om vandløb kan veje nævnes. Veje fremstår som det modsatte af vandløb i den relative højdemodel, hvis disse ligger på et dige eller lignende. Veje er ligesom vandløb lange forløb der forgrener sig. Hvis en objektorienteret klassifikation af vandløb kan udvikles vil denne antageligvis også kunne benyttes til at kortlægge veje, eksempelvis i øde områder i ulande, hvor der ikke findes kortmateriale.

Hvis datakvaliteten af data som metoden virker på forbedres, vil denne måske kunne udvikles til at erstatte den tekniske opmåling af veje, da metoden vil kunne kortlægge vejens midte, kant, kronekant og profil. Image classification vil endvidere kunne benyttes til at kortlægge vejens markeringer. Ved en hyppig dataindsamling er der altså potentiale for at vurderes vejenes stand løbene ved remote sensing.

17 Litteraturliste

- Borch Friderichsen, J. (2013). Nybormødet 2013. *Formålet med randzoner og de lovmæssige aspekter*. NaturErhvervsstyrelsen.
- COWI. (20. 01 2013). *Højdemodeller*. Hentede 17. 04 2013 fra <http://www.cowi.dk/MENU/SERVICE/GEOGRAFISKINFORMATIONOGIT/KORTOGGEODATAPRODUKTER/HOEJDEMODELLER/Pages/hoejdemodeller.aspx>
- de Jong, S. M., van der Meer, F. D., & al, e. (2004). *Remote Sensing Image*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- esri. (2013). *ArcGIS Help*. Hentet fra Why store data as raster?: <http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.1/index.html#//009t00000002000000>
- (4.1). *FOT specifikation*.
- Geoteam. (u.d.). *Om GPSNET.dk*. Hentede 11. 06 2013 fra <http://www.geoteam.dk/produkter/gpsnet/om-gpsnetdk.html>
- GST. (2013). *download.kortforsyningen.dk*. Hentet fra <http://download.kortforsyningen.dk/>
- Lillesand, T. M., Kiefer, R. W., & Chipman, J. W. (2008). *Remote Sensing and Image Interpretation* (6 udg.). USA: John Wiley & Sons, Inc.
- Lov om randzoner*. (14. 6 2011). Hentet fra LOV nr 591 af 14/06/2011 : <https://www.retsinformation.dk/Forms/r0710.aspx?id=137429>
- Miljøministeriet. (2012). *Søer og vandløb*. Hentet fra http://www.naturstyrelsen.dk/Vandet/Soer_og_vandloeb/
- Miljøstyrelsen. (2008). *Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri*. Hentede 2013 fra Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri: <http://www.fvm.dk/Admin/Public/Download.aspx?file=Files%2fFiler%2fLandbrug%2fKortlaegningafranzoner.pdf>
- NaturErhvervsstyrelsen. (2013). *Hvad er effekten af randzonerne?* Hentede 2013 fra Faktaark: http://1.naturerhverv.fvm.dk/hvad_er_effekten_af_ranzoner.aspx?ID=14778
- NaturErhvervsstyrelsen. (2013). *Vejledning om randzoner og kompensation*. København V: Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri.
- Regeringen; KL; Regioner, Danske. (2011). *Den digitale vej til fremtidens velfærd - Den fællesoffentlige digitaliseringsstrategi 2011-2015*. København K: Økonomistyrelsen.
- Ritzau. (1. September 2012). *Randzonekort med vandløb er fulde af fejl*. *Ritzaus Bureau*.

Skov, o., & Naturstyrelsen. (2007). *naturstyrelsen.dk*. Hentet fra Notat til inspiration for vandløbsmyndigheder: <http://www.naturstyrelsen.dk/NR/rdonlyres/64523D19-875C-497E-AC74-AF1526EE521D/45261/vandloepsregulativerjuni07.pdf>

Sørensen, M. H., Jensen, M. L., & Hansen, J. H. (2012). *The Development of a Crown Edge Recognition Procedure*. Semesteropgave, Aalborg Universitet.

Tolstrup, F., & Barfoed, J. (1975). *Vandløbs- og vandforsyningsloven*. Juristforbundets forlag.