



Miljø- og Energiministeriet
Danmarks Miljøundersøgelser

Satellitbaseret vegetations- kortlægning i Vestgrønland

PhD-afhandling
Mikkel P. Tamstorf



DANCEA
Danish Cooperation for Environment in the Arctic
Ministry of Environment and Energy

Datablad

Titel:	Satellitbaseret vegetationskortlægning i Vestgrønland
Undertitel:	PhD-afhandling
Forfatter:	Mikkel P. Tamstorf
Afdeling:	Afdeling for Arktisk Miljø
Udgiver:	Miljø- og Energiministeriet Danmarks Miljøundersøgelser©
URL:	http://www.dmu.dk
Udgivelsestidspunkt:	Marts 2001
Bedes citeret:	Tamstorf, M.P. (2001): Satellitbaseret vegetationskortlægning i Vestgrønland. PhD-afhandling. Danmarks Miljøundersøgelser. 237 s. Kun tilgængelig i elektronisk form: http://www.dmu.dk/1_Viden/2_publicationer/3_Ovrige/default.asp
	Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse.
Sammenfatning:	Ved anvendelse af Landsat TM satellitbilleder er der foretaget vegetationskortlægning af tre områder i Vestgrønland. En omfattende usikkerhedsvurdering af kortlægningen er endvidere foretaget i de to områder omkring Kangerlussuaq og Nuuk. Modellering af snesmeltning og vækstsæson er foretaget på baggrund af NOAA AVHRR data fra perioden 1982-1998. Vegetationskortene er endvidere anvendt sammen med ARGOS positionsdata fra 15 rensdyr i Vestgrønland til at undersøge rensdyrenes vandringsmønstre og fødevalg. En data-CD med resultater og formidling af disse kan rekvireres fra forfatteren.
Frie emneord:	Vegetation, rensdyr, Grønland, remote sensing, Landsat, AVHRR, Arktis.
Finansiell støtte:	DANCEA – Danish Cooperation for Environmental protection in the Arctic.
ISBN:	87-7772-604-9
Sideantal:	237
Yderligere information:	Danmarks Miljøundersøgelser Postboks 358 Frederiksborgvej 399 DK-4000 Roskilde Tlf.: 46 30 12 00 Fax: 46 30 11 14

A.1 Forord

Denne afhandling er indleveret til ph.d.-bedømmelse ved Naturvidenskabeligt Fakultet, Københavns Universitet i oktober 2000.

Afhandlingen er en del af et større projekt, *Samsillet mellem vegetation, rensdyr og menneskelige aktiviteter*, *RenVeg*, som har kørt i perioden 1996 – 2000 og omhandler vegetationskortlægning i Vestgrønland i forbindelse med rensdyr-habitatundersøgelser.

RenVeg er finansieret af DANCEA og har fungeret i samarbejde mellem institutionerne: Grønlands Naturinstitut, Geografisk Institut ved Københavns Universitet, Grønlands Forundersøgelser samt Danmarks Miljøundersøgelser, afd. for Arktisk Miljø.

Jeg vil gerne rette en stor tak til følgende personer for faglige diskussioner, godt samarbejde samt hyggeligt selskab under feltarbejdet i 1997, 1998 og 1999: Eric Steen Hansen, Kristjana Motzfeldt, Pipaluk Møller Lund, Linda Odgaard, Sofie Jerimiassen og ikke mindst Christian Bay, som udover en grundig indførelse i den botaniske verden også har givet mig et venskab. Tak til Christine Cuyler for at stille rensdyrobervationerne til rådighed for *home range* analysen. Endvidere en stor tak til mine vejledere Peter Aastrup, Anders Mosbech og ikke mindst Birger Ulf Hansen for konstruktivt at vild- og vejlede mig igennem de sidste 4 år. Stor tak for hjælp med konstruktive diskussioner og forslag vil jeg også gerne rette til Lotte Illeris.

Yderligere skal rettes en stor tak til min hustru gennem 2 ægteskaber, Trine Vig Jensen, for at holde mig ud og støtte mig igennem hele processen samt hjælpe med utallige gennemlæsninger.

Mikkel P. Tamstorf

A.2 Resumé

Ph.d.-projektet, *Satellitbaseret vegetationskortlægning i Vestgrønland*, er et delprojekt af det DANCEA-finansierede projekt: *Samspillet mellem vegetation, rensdyr og menneskelige aktiviteter (RenVeg)*.

Ph.d.-projektet er opbygget omkring vegetationskortlægningen af tre hovedområder i Vestgrønland. Kortlægningen er baseret på Landsat TM satellitbilleder og botanisk feltarbejde fra feltsæsonerne 1997-1999 og dækker tre områder ved Kangerlussuaq/Sisimiut, Nuuk og Sydgrønland på ialt 76.000 km². Vegetationskortlægningen har kortlagt 9 vegetationsrelaterede overfladetyper: krat, kær, græsland, frodig/opdyrket vegetation, dværgbuskhede, lavholdig dværgbuskhede, steppe, fjeldmark og bar jord/klippe. I forbindelse med kortlægningen er der i to af områderne udført et omfattende usikkerhedsvurdering baseret på såvel traditionelle metoder som på *fuzzy* metoder. Overordnet usikkerhed for de to områder er henholdsvis 76.1% og 56.4% for Kangerlussuaq- og Nuukområdet.

På baggrund af NOAA AVHRR 1 km data fra perioden 1983-1996 for Vestgrønland (Disko – Kap Farvel), er der lavet middelsæsoner for snedække og vegetationsfrodighed (*Normalized Difference Vegetation Index*). Metoder til modellering af snesmeltning (start og slut) og vækstsæson (start, optimum og slut) for individuelle år er udviklet og testet på 2 lokaliteter ved Kangerlussuaq og Nuuk på baggrund af AVHRR 5 km data.

Vegetationskortene er sammen med positioner fra satellitmærkede rensdyr anvendt til analyse af fødegrundlaget indenfor de pågældende rensdyrs *home ranges*. Vægten af analysen er primært lagt på kælvingssområderne, da disse er af stor betydning for rensdyrene og deres reproduktion.

A.3 Indhold

A.3.1 Indholdsfortegnelse

A.1	Forord.....	ii
A.2	Resumé.....	iii
A.3	Indhold.....	iv
A.3.1	Indholdsfortegnelse.....	iv
B	Introduktion.....	1
B.1	Indledning.....	2
B.1.1	Ph.d.-forløbet.....	2
B.1.2	Introduktion til problemstilling.....	2
B.1.3	Formål.....	3
B.1.4	Generelt om satellitbaseret sne- og vegetationskortlægning i Arktis....	4
B.1.4.1	Snekortlægning og -monitering.....	6
B.1.4.2	Vegetationskortlægning og -monitering.....	6
B.1.4.3	Opsummering.....	9
B.1.5	Afhandlingens opbygning.....	9
B.1.5.1	Afhandlingen.....	9
B.1.5.2	Data-CD.....	10
B.2	Områder, klima og vegetation.....	12
B.2.1	Områdernes geografiske udstrækning.....	13
B.2.2	Klima og klimagraderter.....	14
B.2.2.1	Klimaet i Vestgrønland.....	14
B.2.2.2	Stråling.....	16
B.2.2.3	Temperatur.....	17
B.2.2.4	Nedbør.....	19
B.2.2.5	Vind.....	21
B.2.2.6	Fordampning og jordvandsindhold.....	21
B.2.2.7	Klimatrends 1980-1998.....	22
B.2.3	Arktisk vegetation og dens tilpasning til klimaet.....	24
B.2.3.1	Stråling.....	24
B.2.3.2	Temperatur.....	25
B.2.3.3	Vandtilgængelighed.....	26
B.2.3.4	Næringsstoffer.....	27
C	Vegetationskortlægning.....	29
C.1.1	Databearbejdning.....	29
C.1.1.1	Præprocessering.....	30
C.1.1.2	Klassifikation.....	31
C.2	Datagrundlag.....	33
C.2.1	Satellitdata.....	33
C.2.1.1	Anvendte billeder.....	33
C.2.2	Atmosfæreprofiler.....	34
C.2.3	Kortdata og digital højdemodel (DEM).....	36
C.2.3.1	Kortdata.....	36
C.2.3.2	Digital højdemodel.....	36
C.3	Feltundersøgelser.....	37
C.3.1	Spektralmålinger.....	37
C.3.2	Overfladetyper.....	39
C.3.2.1	Vegetationsdækkede overflader.....	40
C.3.3	Positionsdata.....	40

C.4	<i>Metode</i>	42
C.4.1	Præprocessering.....	42
C.4.1.1	Destribning.....	42
C.4.1.2	Kalibrering og atmosfærisk korrektion	44
C.4.1.3	Kalibrering	44
C.4.1.4	Atmosfærisk korrektion	46
C.4.1.5	Geometrisk opretning.....	50
C.4.1.6	Terrænkorrektion	52
C.4.1.7	Mosaik af anvendte billeder	55
C.4.2	Klassifikation.....	56
C.4.2.1	Indsamling af feltdata til anvendelse i klassifikationen	56
C.4.2.2	Unsupervised klassifikation	56
C.4.2.3	Supervised klassifikation	57
C.4.2.4	Kortlægning af vegetationsløse overflader	60
C.4.2.5	Kortlægning af vegetationsdækkede overflader.....	61
C.4.3	Usikkerhedsbestemmelse.....	63
C.4.3.1	Indsamling af data til usikkerhedsbestemmelse	63
C.4.3.2	Anvendt usikkerhedsestimering	65
C.5	<i>Resultater</i>	71
C.5.1	Spektralsignaturer	71
C.5.1.1	Spektralbibliotek.....	71
C.5.1.2	Spektralsignaturer og træningsklasser.....	72
C.5.2	Vegetationskortlægning ved Kangerlussuaq.....	74
C.5.2.1	Fordeling af vegetationstyperne	74
C.5.2.2	Usikkerhedsvurdering	75
C.5.3	Vegetationskortlægning ved Nuuk	78
C.5.3.1	Fordeling af vegetationstyperne	79
C.5.3.2	Usikkerhedsvurdering	79
C.5.4	Vegetationskortlægning ved Sydgrønland	81
C.5.4.1	Fordeling af vegetationstyperne	82
C.5.4.2	Usikkerhedsvurdering	82
C.5.5	Vegetationstypernes fordeling langs klimagraderne.....	83
C.6	<i>Diskussion</i>	86
C.6.1	Kortlægning af vegetationen i de tre områder	86
C.6.1.1	Træningsklasserne.....	86
C.6.1.2	Vegetationstyperne.....	87
C.6.1.3	Usikkerhedsvurdering	88
C.6.1.4	Årsager til usikkerhed i klassifikationresultaterne	94
C.6.1.5	Opsummering.....	97
C.6.2	Vegetation og klimagrader.....	98
C.6.2.1	Vegetationstypernes udbredelse.....	98
C.7	<i>Konklusion</i>	100
C.7.1.1	Anvendelse af kortene.....	100
C.7.1.2	Usikkerhed	100
C.7.1.3	Gradientbetingede vegetationsforskelle	101
D	Retrospektiv AVHRR analyse	102
D.1.1	Formål.....	104
D.2	<i>Datagrundlag</i>	105
D.2.1	Generelt om NOAA AVHRR	105
D.2.2	Billeddata.....	106
D.2.3	Punktdata	108
D.3	<i>Teori og metode</i>	109
D.3.1	Præprocessering	109
D.3.1.1	Kalibrering	109
D.3.2	Maximum compositing	110
D.3.3	Beskrivelse af middelår ud fra billeddata	111
D.3.4	Sneafsmeltning	112
D.3.4.1	Albedo.....	112
D.3.4.2	Modellering af punktdata	113

D.3.5	Vækstsæsonen.....	114
D.3.5.1	NDVI	114
D.3.5.2	Modellering af punktdata	114
D.4	<i>Resultater</i>	117
D.4.1	Middelår fra billeddata	117
D.4.2	<i>Maximum compositing</i>	118
D.4.3	Modellering	119
D.4.3.1	Usikkerhed for modellering	119
D.4.3.2	Model-eksempler	119
D.4.3.3	Alle sæsoner	120
D.4.3.4	Middelår	122
D.4.3.5	Variation fra normalen	122
D.5	<i>Diskussion og opsummering</i>	125
D.5.1	Præsentation af middelår fra billeddata	125
D.5.2	<i>Maximum composite</i>	125
D.5.3	Modellering af punktdata	126
D.5.3.1	Valg af snesmeltningensmodel	126
D.5.3.2	Anvendelse af snesmeltningensparametrene	126
D.5.3.3	Valg af vækstsæsonmodel	126
D.5.3.4	Anvendelse af vækstsæsonmodel	127
D.5.3.5	Generelt om resultaterne	128
D.5.4	Anvendelse af billeddata	129
D.6	<i>Konklusion</i>	130
E	Analyse af vegetation i satellitmærkede rensdyrs kerneområder	132
E.1	<i>Indledning</i>	133
E.1.1	Formål	133
E.2	<i>Datagrundlag</i>	134
E.2.1	Undersøgellesområder	134
E.2.2	Positionsdata	135
E.2.2.1	Montering af satellitsendere	135
E.2.2.2	Data fra satellitsenderne	136
E.2.3	Kortmateriale	137
E.2.3.1	Vegetationskort	137
E.2.3.2	Topografiske kort	137
E.3	<i>Teori og metode</i>	138
E.3.1	Rensdyrenes sæsoner	138
E.3.2	Estimering af <i>home range</i>	138
E.3.3	Databehandling	140
E.4	<i>Resultater</i>	141
E.4.1	Samlede <i>home ranges</i>	141
E.4.2	Sæsondelte <i>home ranges</i>	142
E.4.3	<i>Home range</i> baseret på alle år	144
E.4.3.1	Relativ fordeling af vegetationstyper	145
E.4.3.2	Fordeling af vegetationstyper indenfor <i>home range</i>	146
E.4.3.3	Vegetationen i kerneområder og tæt ved observationerne	148
E.4.3.4	Sammenligning af kælvningsområderne	149
E.5	<i>Diskussion</i>	151
E.5.1	<i>Home ranges</i> og migration	151
E.5.1.1	Region Nord	151
E.5.1.2	Region Central	152
E.5.1.3	Usikkerhed i <i>home range</i> estimering	153
E.5.2	Fordeling af vegetationstyper	154
E.5.2.1	Forskelle og ligheder i kælvningsområder	155
E.6	<i>Konklusion</i>	156
F	Opsummering og perspektivering	158

F.1.1	Vegetationskortlægning	158
F.1.1.1	Gradientbetingede vegetationsforskelle	159
F.1.2	Retrospektiv AVHRR analyse	159
F.1.3	Analyse af vegetation i satellitmærkede rensdyrs kerneområder	160
G	Referencer	162
H	Appendiks.....	H-1
H.1	Ordforklaring.....	H-2
H.2	Introduktion til vegetationskortlægning i Arktis og remote sensing.....	H-4
H.2.1	Stråling.....	H-4
H.2.2	Satellitbestemte parametre.....	H-7
H.2.3	Satellitter til brug for vegetationskortlægning i Arktis	H-9
H.3	Områder og navne	H-12
H.3.1	Kangerlussuaq.....	H-12
H.3.2	Nuuk	H-13
H.3.3	Sydgrønland.....	H-14
H.4	Klimadata.....	H-15
H.4.1	Temperatur.....	H-15
H.4.2	Nedbør	H-16
H.4.3	Vindhastighed.....	H-16
H.4.4	Skydække.....	H-16
H.5	Anvendte billeder	H-17
H.5.1	Kangerlussuaqområdet.....	H-18
H.5.1.1	22. juni 1995	H-18
H.5.1.2	3. september 1996	H-19
H.5.2	Nuukområdet	H-20
H.5.2.1	20 juli 1993	H-20
H.5.2.2	1. juli 1995	H-21
H.5.3	Sydgrønlandsområdet	H-23
H.5.3.1	17. juli 1993 Nord	H-23
H.5.3.2	17. juli 1993 Syd.....	H-24
H.5.3.3	20. august 1997	H-25
H.6	Overfladetyper	H-27
H.6.1.1	Vegetationsløse overflader.....	H-33
H.7	Træningsområder.....	H-35
H.7.1	Kangerlussuaqområdet.....	H-35
H.7.2	Nuukområdet	H-37
H.7.3	Sydgrønlandsområdet	H-39
H.8	Typeanalyser	H-41
H.8.1	Kangerlussuaq.....	H-41
H.8.2	Nuuk	H-41
H.8.3	Sydgrønland.....	H-42
H.9	AVHRR punktdata	H-43
H.10	Home Ranges	H-44
H.10.1	Nuuk (Region Central)	H-44
H.10.2	Kangerlussuaq (Region North).....	H-47

B Introduktion

I denne introduktion vil afhandlingens problemstilling og formål samt opbygningen af afhandlingen blive præsenteret i *Indledning*. Dernæst følger kapitlet, *Områder, klima og vegetation*, hvor de kortlagte områder og vegetationens tilpasning til klimaet præsenteres.

B.1 Indledning

B.1.1 Ph.d.-forløbet

Denne afhandling er indleveret som ph.d.-afhandling ved Det Naturvidenskabelige Fakultet, Københavns Universitet i efteråret 2000.

Ph.d.-forløbet blev startet i efteråret 1996 ved Danmarks Miljøundersøgelser, afd. for Arktisk Miljø (DMU/AM) med vejledning dels internt af Peter Aastrup og Anders Mosbech og dels eksternt af Birger Ulf Hansen ved Geografisk Institut, Københavns Universitet (GI). Ph.d.-afhandlingen har fået titlen *Satellitbaseret vegetationskortlægning i Vestgrønland* og er del af RenVeg-projektet *Samspillet mellem vegetation, rensdyr og menneskelige aktiviteter*, som har kørt i den tilsvarende periode ved Grønlands Naturinstitut (GN), Grønlands Forundersøgelser (Asiaq), DMU/AM og GI. RenVeg-projektet, der er finansieret af DANCEA, forventes afsluttet i efteråret 2000 og sigter mod anvendelse i forvaltningen af naturressourcerne (rensdyr, moskusokser og får) i Vestgrønland, og skal derfor være tilgængelig for såvel forvaltningsorganer som fangerforeninger lokalt i Grønland. Med nævnte målgruppe er det derfor besluttet at udfærdige slutrapporten (og dermed denne afhandling) på dansk. Videnskabelig publicering af resultaterne forventes at følge i løbet af det kommende år.

Feltarbejdet, som ligger til grund for afhandlingen har været foretaget om sommeren i Vestgrønland; 6 uger i 1997, 4 uger i 1998 og 3 uger i 1999. Forfatteren har forestået planlægning og udførelse af feltarbejdet i samarbejde med GN og har udover de satellitrelaterede målinger også deltaget i de botaniske undersøgelser. Forfatteren har endvidere i foråret 1999 været på et 4 måneders ophold ved Institute of Arctic and Alpine Research hos Donald Walker ved Tundra Ecosystem Analysis and Mapping Laboratory (TEAML) i Boulder, Colorado.

Der har under forløbet været fulgt kurser i blandt andet numeriske metoder i vegetationsøkologi, arktisk floristik, remote sensing og tidsserier af globale datasæt samt hyperspektral dataanalyse og billedprocessering.

Forfatteren har under ph.d.-forløbet arbejdet med vegetationskortlægningsmetoder kortlagt vegetationen i tre hovedområder i Vestgrønland, samt anvendt satellitpositioner fra rensdyr til en analyse af fordelingen af vegetationstyperne i rensdyrenes *home ranges*. Endvidere har forfatteren foretaget en retrospektiv analyse af NOAA AVHRR data og udviklet metoder til fremtidig anvendelse ved monitorering af sne- og vegetationsdækket i Vestgrønland.

B.1.2 Introduktion til problemstilling

Vegetationskortlægning er vigtig for undersøgelser af levevilkårene for rensdyr, moskusokser og får i Vestgrønland, idet vegetationsdækket og eventuelle ændringer i sammensætning eller udbredelse heraf antages at ville påvirke bestandene. Vegetationskortlægningen giver 1) status for vegetationsdækkets udbredelse og 2) en kvalitativ beskrivelse af vegetationen i vigtige rensdyrområder i Vestgrønland. På baggrund heraf kan for eksempel udføres nærmere undersøgelser af rensdyrenes foretrukne græsningsområder

gennem satellitmærkninger. Vegetationskortene vil dermed i fremtiden danne basis for forskning og forvaltning i forbindelse med:

- Udpegning af vigtige områder for dyrelivet
- Vurdering af forskellige områders betydning for rensdyr i Vestgrønland
- Identifikation af følsomme naturområder, som kælvningsområder for rensdyr
- Overvågning af vegetationens tilstand og vækstsæsonens længde i rensdyrområder
- Fremtidige terrestriske forskningsprojekter i Vestgrønland og som baseline for senere studier af vegetationsændringer, græsningstryk og lignende

Ændringer i vegetationsdækket

Ændringer i vegetationsdækket kan ske som følge af forandringer i klima, græsningstryk, landbrug, forurening osv. At der er sket en ændring i udbredelsen af lavdækket i visse områder ses tydeligt ved sammenligning mellem områder i dag og tidligere undersøgelser. Rasmussen (1907) rapporterer om store frodige sammenhængende lavdækker i områder ved Godthåbsfjorden, hvor der i dag stort set ikke er lavdække. Andre senere undersøgelser understøtter at der er sket en generel formindskelse i udbredelsen af lavdækket i Grønland i dette århundrede (Böcher 1954, Vibe 1967, Thing 1984). Om disse ændringer kan tilskrives ændringer i klima, græsning eller andre parametre er usikkert, men gentagne undersøgelser og kortlægning af vegetationsdækket vil give bedre baggrund for en vurdering af dette.

I takt med at interessen for eventuelle klimaændringer er steget, er interessen for arktisk vegetations- og snekortlægning også øget. I følge mange af de globale klimamodeller vil klimaændringer vise sig først og være kraftigst i Arktis (Walsh 1991, Oechel *et al.* 1996a). Estimering af flux af drivhusgasser fra de arktiske egne er nødvendige for mange af disse modeller, og en øget viden om overfladetyperne i Arktis er derfor nødvendig (Oechel og Vourlitis 1996b).

B.1.3 Formål

Formålet med ph.d.-afhandlingen er, som skitseret ovenfor at bidrage til RenVeg-projektet ved:

- at foretage analyse af vegetationen i udvalgte områder i Vestgrønland, hvor der lever rensdyr ved:
 - en kvalitativ kortlægning af udvalgte vegetationstyper
 - en kvantitativ analyse af fordelingen af disse (også i forhold til klimatiske gradienter)
- at gøre kortlægningen tilgængelig for relevante brugere og forvaltning samt fanger- og fåreavlerforeninger i Grønland og derved at skabe et grundlag for økologiske analyser af forholdet mellem vegetationen og rensdyrenes levevilkår
- at udvikle en metode til beskrivelse af snesmeltning og vækstsæson på baggrund af dag- eller ugentlige satellitbilleder gennem en retrospektiv analyse af sne og vegetationsdækket på to udvalgte lokaliteter. Ved anvendelse på større områder vil analyserne kunne danne grundlag for forståelsen af ændringerne i fødegrundlaget for specielt rensdyr fra år til år.
- at anskueliggøre anvendelse af kortene ved analyse af rensdyrenes valg af habitat (*home range*)

B.1.4 Generelt om satellitbaseret sne- og vegetationskortlægning i Arktis

Kortlægning af snedække og vegetation baseret på satellitbilleder vanskeliggøres specielt i Arktis af flere forskellige forhold. Kortlægningen af vestgrønlandske rensdyrs og moskusokseers føderessourcer er vanskelig på grund af størrelsen af de arealer som dyrene udnytter, og som derfor skal kortlægges. Endvidere fordyres kortlægningen ved den vanskelige adgang til områderne.

Traditionel kortlægning

Ved traditionel vegetationskortlægning kortlægges vegetationen baseret på felt observationer og luftfotos. Metoden er grundig, men i de hyppigst anvendte klassifikationsmetoder anvendes subjektive skøn for dækningsgraden af plantetyperne. Metoden vil ved anvendelse af erfarne botanikere give et detaljeret billede af vegetationen i det kortlagte område. Metode er langsommelig, da mange lokaliteter skal besøges for at opnå tilstrækkelig information om området til at retfærdiggøre ekstrapolation ud i hele det område, som dækkes af flyfotoet. Således kræves et omfattende feltarbejde med mange feltanalytikere for muliggøre dækning indenfor få sæsoner. Anvendelsen af flere personer med forskelligt erfaringsgrundlag vil tilføje en usikkerhed imellem de analyser, som foretages.

Digital kortlægning

Ved digital kortlægning med anvendelse af satellitdata kan store områder kortlægges på baggrund af feltarbejde i et relativt lille antal lokaliteter. Satellitdata indeholder, i modsætning til flyfotos, information fra et bredt spektrum af bølgelængder og giver derfor større mulighed for at adskille forskellige vegetationstyper end foreksempel sort/hvide luftfotos, som kun anvender det synlige lys-spektrum.

Ekstrapolationsmetoder

Kortlægningen bliver ved den digitale metode også mere objektiv, idet ekstrapolation til hele det ønskede areal foretages af computeren efter fastsatte kriterier. Digitale satellitdata er relativt dyre, men ved sammenligning med traditionel feltkortlægning er satellitbaseret vegetationskortlægning af store arealer billigere. Nye kortlægninger kan endvidere gentages relativt enkelt ved anskaffelse af supplerende information (f.eks. terræninformation).

Mosbech og Hansen (1994) sammenlignede de to metoder i Jameson Land på østkysten af Grønland, og konkluderede, at den digitale metode med satellitbilleder var den mest økonomiske. (I 1999 blev Landsat billeder endvidere endnu billigere, idet prisen på billederne er nedsat til 1/5 af de tidligere priser). De anvendte satellitbilleder var dog ikke af tilstrækkelig opløsning til at kortlægge vegetationen på et tilsvarende detaljeret niveau, som den traditionelle kortlægning (Bay og Holt, 1986).

Vegetationskortlægning med remote sensing (såvel fly- som satellitbilleder) er igennem de sidste 20 år blevet anvendt i højere grad. Det er her valgt at basere vegetationskortlægningen på multispektrale Landsat 5 TM satellitdata, der har en spatial opløsning på 30*30 m og dækker et område på cirka 180*180 km. Satellitten har 6 spektrale bånd og derved væsentligt mere information end traditionelle flybilleder som kun har et bånd. Princippet i vegetationskortlægning på baggrund af multispektrale satellitdata, bygger på sammenligning af vegetationstypernes karakteristiske spektrale mønstre og identificering af lignende mønstre i satellitbillederne.

Retrospektiv analyse af sne- og vegetationsdække

Som baggrund for forvaltningen af rensdyr i Vestgrønland er et kendskab til fordelingen af føderessourcerne og deres tilgængelighed vigtig. Disse betinges i Vestgrønland i høj grad af snedækket, hvorfor der under RenVeg-

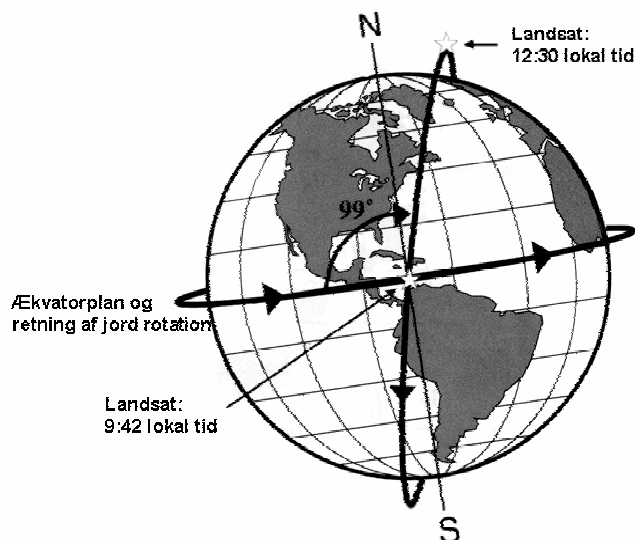
projektet er indsamlet billeddata fra NOAA AVHRR satellitten til brug for en retrospektiv analyse af sne- og vegetationsdækket. Indsamlingen af disse data er foretaget af Grønlands Forundersøgelser (ASIAQ), og som en fortsættelse heraf er der i ph.d.-projektet foretaget modellering af snesmeltning og vækstsæsonkarakteristika igennem de sidste 17 år for nogle udvalgte lokaliteter.

Home range analyser

I ph.d.-projektet er endvidere foretaget analyse af vegetationsdækket i rensdyrenes *home ranges* ved Kangerlussuaq og Nuuk. Analysen bygger dels på vegetationskortene, som er produceret i dette delprojekt og dels på positionsdata fra de satellitmærkede rensdyr (Cuyler og Linnell, in prep.).

Polar baner og skydække

Stationære satellitter, som for eksempel Meteosat, ligger stabilt ud for den samme længdegrad over ækvator og kan dermed kontinuerligt give data for det samme område. For at kunne opnå en sådan position ligger satellitterne i en bane 35900 km fra jorden og har derfor en tilsvarende ringe spatial opløsning (2.4 km – 5 km). Da Arktis endvidere ligger for nordligt for denne løsning er man her istedet nødsaget til at anvende satellitter med polare baner. Polare baner har dog den fordel at satellitterne flyver tættere på jordoverfladen og dermed kan give en højere rumlig opløsning.



Figur B.1 Polarbane for Landsat 5 satellitten. Satellitten er i en solsynkron bane og overflyver dermed en given lokalitet på samme tidspunkt ved hver overflyvning. NOAA satellitten har en lignende polar bane.

I Figur B.1 er den polare bane for Landsat satellitten vist. Satellitter i polare baner vil ikke være stabile over et punkt, men istedet gennemflyve et fastlagt mønster hvor enkelte baner overflyves med jævne mellemrum. Landsat TM satellitten overflyver således samme punkt på ækvator hver 16. dag. Nærme polerne sker overflyvningen hyppigere, idet der forekommer større overlap imellem banerne. Grundet det hyppige skydække i arktiske egne og specielt i kystnære egne af Vestgrønland er skyfrie forhold under overflyvningerne sjældne, og det kan derfor være vanskeligt at få overflyvninger på de relativt få skyfrie dage.

Reliefrigt terræn

Det bjergrige terræn i Vestgrønland influerer kraftigt på signalet som satellitten modtager. Sydvendte skrånninger vil fremstå oplyste, mens nordvendte skrånninger vil henligge i skygge og derfor være sværere at kortlægge. Også i forbindelse med den atmosfæriske påvirkning har reliefrigt terræn indflydel-

se, idet reflekteret lys fra skråninger vil ændre signalet, som modtages fra en given pixel.

Lave solhøjder

Lave solhøjder gør atmosfærisk korrektion vanskelig. Jo lavere solhøjde, desto mere atmosfære skal lyset gennemtrænge. Ved solhøjder under 20° er atmosfærisk korrektion vanskelig, hvilket udelukker anvendelsen af billeder fra hele vinterhalvåret og en del af foråret og efteråret i de arktiske egne. I denne periode kan sensorer, som måler langbølget udstråling fra jorden og aktive sensorer (f.eks. radar) anvendes istedet. Disse data er dog ikke særligt anvendelige til snekortlægning, idet radar gennemtrænger den tørre sne og istedet måler refleksionen af den underliggende flade. Snedækket må endvidere forventes at være relativt konstant i løbet af mørkeperioden.

Sparsom vegetation

Det barske klima og den korte vækstsæson medfører et relativt sparsomt vegetationsdække, hvilket er ensbetydende med et lavt samlet indhold af klorofyl og andre pigmenter. Den enkelte plante har et højt indhold af klorofyl, men med et sparsomt vegetationsdække måler satellitten et relativt lavt indhold. Da netop disse pigmenter er en af de væsentlige faktorer i spektral adskillelse af vegetationstyperne bliver forskellene imellem typerne tilsvarende mindre og vanskeliggør kortlægningen. Samtidig medfører de lave solhøjder at større arealer i reliefrige områder vil ligge i skygge.

B.1.4.1 Snekortlægning og -monitering

Snekortlægning og monitering foretages i dag løbende i dele af Arktis som basis for beregning af afsmeltning til vandkraft, lavineforebyggelse og som input til for eksempel klimamodeller (Andersen 1982, Robinson et al 1993, Walker *et al.* 1993). Albedo, kornstørrelsesfordeling, vandindhold og vandækvivalens er nogle af de parametre som bliver estimeret i forbindelse med kortlægningen (Dozier 1989, Winther 1992, Fily *et al.* 1999).

I Figur H.3 på side H-7 er spektralsignaturen for blandt andet frisk sne vist. Det er tydeligt, hvordan sne specielt i bølgelængder under 1,2 Tm er meget forskellig fra andre naturligt forekommende overflader (f.eks. vegetation og jord). Derfor anvendes da også primært satellitsensorer, som måler refleksion i disse bølgelængder i modsætning til de tidligere omtalte aktive sensorer. Indenfor de viste bølgelængder er det stort set kun skydække, der har samme refleksion og kun omkring 1.5 Tm er det normalt muligt at adskille disse.

Indenfor de anvendte satellitter til snemonitering dominerer Landsat TM ved analyser til detailstudier af albedo, kornstørrelsesfordeling, vandindhold osv. I større regionale og globale studier er NOAA AVHRR den dominerende sensor. I Sektion D vil denne sensor og regionale snestudier blive beskrevet nærmere.

I Grønland har flere studier med snekortlægning med både NOAA AVHRR og Landsat TM været præsenteret (Bl.a. Hansen og Mosbech 1994, Hansen og Søggaard 1989, Tamstorf 1997).

B.1.4.2 Vegetationskortlægning og -monitering

Vegetationskortlægning i Arktis bliver mere og mere udbredt efterhånden som interessen for globale klimaændringer stiger. Som nævnt i indledningen ventes denne først at kunne ses i Arktis og vegetationen vil derfor blive direkte påvirket i disse egne. Således publicerede Myneni *et al.* (1997) i Nature at de ved analyse af AVHRR data fra 1981-1991 kunne bevise en forøgelse i grønningen i Arktis. Denne konklusion blev der stillet spørgsmålstegn ved grundet fejlkalibrering af data (Gutman, 1999). Zhou *et al.* (submitted) har opdateret analysen til at korrigerer for disse fejl i perioden 1981 –

1999 og påviser en øget grønhed og forlænget vækstsæson i Arktis. Shabanov *et al.* (submitted) har i et lignende studie påvist et mindre snedække og tidligere forår i Arktis i perioden 1981-1994.

Endvidere anvendes vegetationskortlægning indenfor forvaltning af naturressourcer i forbindelse med fødegrundlaget for blandt andet rensdyr, moskusokser og gæs. Monitering af vegetationen i Arktis kan derfor opdeles i egentlig vegetationskortlægning og monitering af biofysiske parametre.

Vegetationskortlægning

Egentlig vegetationskortlægning kortlægger udbredelse af et antal fast definerede vegetationstyper, der typisk fastlægges gennem botanisk feltarbejde, som det har været gjort i RenVeg-projektet. Antallet og typerne, som kortlægges er begrænset af hvilken satellitsensor, der anvendes. Begrænsningen ligger i antallet af vegetationstyper som forekommer indenfor en pixel og dermed kompromiseret med at give disse en overordnet beskrivelse. For eksempel vil Landsat TM og SPOT HRV være i stand til at kortlægge rimeligt snævert definerede vegetationstyper (f.eks. dværgbuskhede, kær, steppe etc.), hvorimod NOAA AVHRR kun vil være i stand til at kortlægge brede typer (for eksempel fugtig tundra, tør tundra etc.).

I Arktis er der foretaget mange kortlægningsstudier gennem de sidste 20 år. De følgende referencer er ikke ment som en udtømmende liste over arktisk kortlægning, men mere som et forslag til introduktion til de pågældende områder og metoder.

Kortlægning i Grønland

I Grønland har Folving (1986), Holt (1987), Lund *et al.* (1996) samt Motzfeldt *et al.* (1996) anvendt Landsat MSS og TM og SPOT HRV billeder til kortlægning af vegetationen i henholdsvis Sydvestgrønland, Paradisdalen, Isortoq og Paamiut. I Zackenberg i Nordøstgrønland har Lund (1993) anvendt SPOT HRV data, mens Tamstorf (1997) udover det multi-temporale Landsat TM og SPOT datamateriale også inkluderede en digital terrænmodel (DTM) i denne kortlægning. I Jameson Land i Nordøstgrønland har Mosbech og Hansen (1994) sammenlignet kortlægning med Landsat TM og SPOT HRV billeder med kortlægning baseret på infrarøde luftfotos (Bay og Holt, 1986). Rivard og Arvidson (1992) testede Landsat TM data og lavdækkets indflydelse på mineralkortlægning på Storø ved Nuuk.

Nordamerika

I Nordamerika og specielt i Alaska er foretaget en række satellitbaserede vegetationsundersøgelser. I det sydvestlige Yukon i Canada har Franklin (1990 og 1991) anvendt Landsat MSS og TM samt en digital terrænmodel (DTM) til kortlægning af vegetationen. Studiet er primært foretaget for at undersøge DTM'ers indflydelse på kortlægning i et reliefrikt område. Markon og Derksen (1994) og Stow *et al.* (1989 og 1993) anvendte SPOT HRV data til kortlægning af vegetationen nord for Brooks Range. Muller *et al.* (1998) samt Stow *et al.* (1998) har begge anvendt Landsat MSS i Kuparuk River Bassin til vegetationskortlægning. Ferguson (1991) og Gratto-Trevor (1996) anvendte Landsat TM billeder til lokalisering af henholdsvis moskusokse- og kystfugle-habitater i Canadas Nordvest Territorium. I storskala-kortlægninger har Muller *et al.* (1999) anvendt Landsat MSS til kortlægning af Alaska North Slope, mens Markon *et al.* (1995) har kortlagt hele Alaska med AVHRR tidsseriedata for at undersøge fænologien af plantedækket. Joria og Jorgenson (1996) anvendte Landsat TM til sammenligning af tre metoder til brug for kortlægning af tundravegetation i det nordøstlige Alaska.

Svalbard

På Svalbard er udført flere vegetationskortlægninger baseret på satellitbilleder med høj spatial opløsning. Spjelkavik og Elvebakk (1989) anvendte Landsat TM til at kortlægge vintergræsningsområder for rensdyrene i Bünsow Land. Spjelkavik (1994) anvender Landsat 5 TM data til kortlægning af vegetation og rensdyrs fourageringsområder på Svalbard. Brossard og Joly (1994) anvendte Landsat TM og en sandsynlighedsmodel til kortlægning af Brøggerhalvøya, mens Spjelkavik (1995) sammenlignede en Landsat TM klassifikation med et traditionelt vegetationskort. Nilsen *et al.* (1999) kobler numeriske metoder med SPOT data for at kortlægge vegetationen på Brøggerhalvøya.

Nord-Europa og Rusland

Ren-drift er udbredt i det nordlige Norge, Sverige og Finland hvilket har medført behov for kortlægning. Käyhkö og Pellikka (1994) anvendte SPOT data til undersøgelse af græsningstrykket i det nordlige Finland. Colpaert *et al.* (1995) brugte Landsat TM billeder i deres kortlægning af vegetation og græsningstryk i rensdyrområderne i det nordlige Finland. I Nordsverige har Parlow (1996) anvendt et Landsat TM billede til at teste terrænkorrigerings indflydelse på vegetationskortlægning i reliefrikt terræn. Williams og Dowsdell (1988) anvendte Landsat TM billeder til kortlægning af havfuglehabitater i Franz Josef Land. Rees og Williams (1997) undersøgte vegetationsændringer forårsaget af atmosfærisk forurening på Kolahalvøen ved brug af Landsat MSS data.

Circumpolart

Siden 1994 har der i et internationalt forum været arbejdet på at fremstille et circumpolart vegetationskort (Walker og Markon, 1996) i en skala på 1:7.500.000. Det kortlagte område afgrænses mod syd af den nordlige polarcirkel. Kortlægningen baseres dels på NOAA AVHRR billeder med 1 km's spatial opløsning underbygget af feltarbejde. Produktet vil udover et vegetationskort også inkludere andre lag som maksimum NDVI, relief, jordbundstyper og lignende. Arbejdet ventes afsluttet i starten af år 2001.

Monitering af biofysiske parametre

Biofysiske parametre monitoreres tit i Arktis sideløbende med vegetationskortlægning. Hvor kortlægningen normalt tager udgangspunkt i udbredelse af specifikke typer er undersøgelserne af biofysiske parametre mere et forsøg på at skabe grundlag for processtudier, som relaterer sig til for eksempel drivhusgasser, biomasse og bladarealindeks (LAI). Disse kan siden anvendes til modellering i klimamodeller eller generel bedre forståelse af det arktiske økosystem. I disse studier er udstrækningen af undersøgelserne vigtig ved valget af sensor. NOAA AVHRR anvendes til regionale og globale studier, hvor Landsat TM, -MSS og SPOT HRV anvendes til lokale studier. Tit relateres disse studier også til en egentlig vegetationskortlægning.

NOAA AVHRR data har i Grønland været anvendt til analyse af vegetationen ved brug af vegetationsindeks i Sydgrønland, på Vestkysten og i Jameson Land (Hansen 1989, 1990 og 1991a, Hansen og Søgaard (1989), Hansen og Mosbech 1994). Vegetationsindeks kan anvendes til estimering af biofysiske parametre og har fundet en bred anvendelse i satellitbaserede vegetationsstudier (se endvidere afsnit C.4.2.3 på side 57 for nærmere beskrivelse). Jacobsen og Hansen (1999) anvendte SPOT billeder og biomasse estimering til kortlægning af jordflux og nettostråling i Zackenberg. Stow *et al.* (1998) anvendte vegetationsindeks fra Landsat MSS og SPOT HRV data til estimering af CO₂ flux i Alaska. I Alaska og Canada har undersøgelser af vegetationsindeks og albedo for forskellige vegetationstyper og relation af disse til f.eks. biomasse, bladarealindeks (LAI) og dybden af det aktive lag i områder domineret af permafrost været anvendt (Eck *et al.* 1997, Hope *et al.* 1999,

Jano *et al.* 1998, Lafleur *et al.* 1997, McMichael *et al.* 1997, Shippert *et al.* 1995, Walker *et al.* 1995).

B.1.4.3 Opsummering

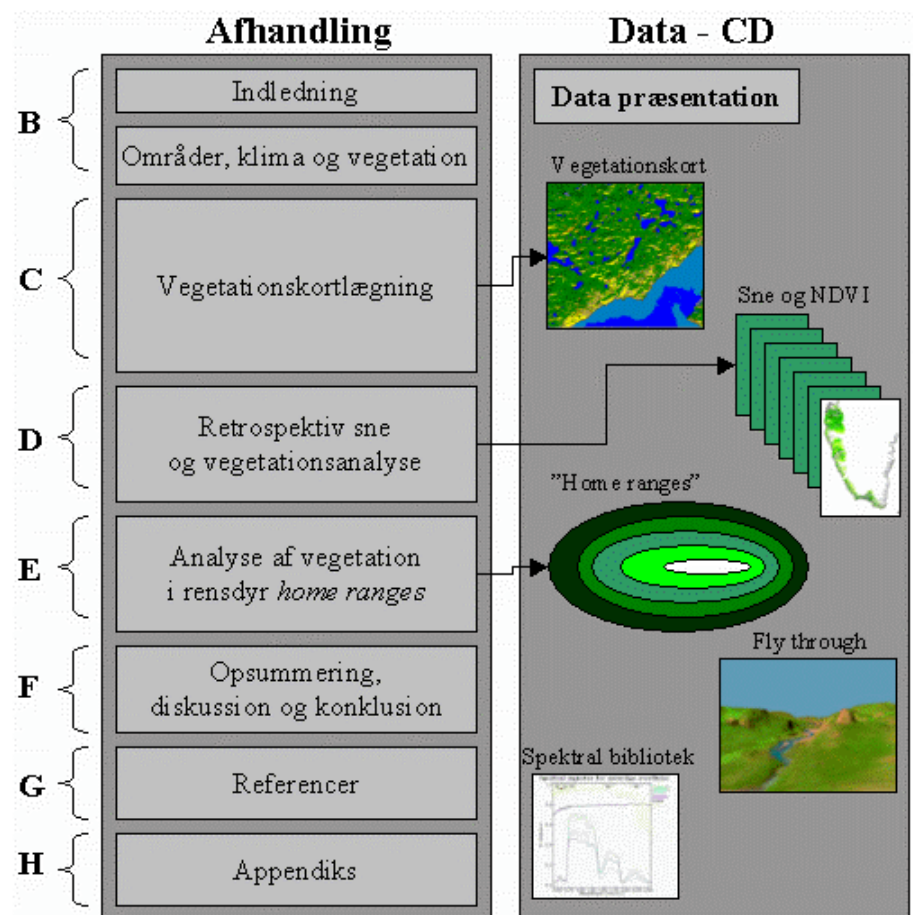
Ovennævnte erfaringer med satellitbaseret kortlægning af arktisk vegetation viser anvendelse af metoderne i op mod 20 år i Arktis og metoderne har genereret gode klassifikationer med høj sikkerhed. Det er dog tydeligt, at der stadig er problemer, der skal løses ved satellitbaseret sne- og vegetationskortlægning i Arktis. Studier i såvel præprocessering og klassificering, som i udvikling af sensorer og kortgrundlag, kan forbedre resultaterne.

B.1.5 Afhandlingens opbygning

Afhandlingen er opbygget som en sammenhængende enhed og samtidig anvendelse af den vedlagte Data-CD vil give en bedre forståelse af data og deres anvendelse. I Figur B.2 er opbygningen af afhandlingen stillet skematisk op for at lette indgangen til materialet.

B.1.5.1 Afhandlingen

Afhandlingens første hovedsektion (Sektion B) indeholder introduktionen til hele afhandlingen: *Indledning* (dette kapitel) samt *Områder, klima og vegetation*.



Figur B.2 Afhandlingens opbygning. Bogstaver i venstre side af figurer refererer til sektionsafsnit.

Områder, klima og vegetation

I det følgende kapitel præsenteres undersøgelsesområderne ved en kort geografisk præsentation. Klima og klimagrader i Vestgrønland præsenteres

før en gennemgang af arktisk vegetation og dens muligheder for tilpasning til variationer i klimaet.

Vegetationskortlægning

Efter introduktionen til afhandlingen i Sektion B følger den egentlige vegetationskortlægning i Sektion C. Beskrivelsen af denne er opdelt i præsentation af data, metodevalg og beskrivelse, præprocessering, klassifikation samt beskrivelse af resultaterne. I dataafsnittet vil satellit-, felt- og kortdata blive præsenteret samt ulemper og fordele ved de anvendte data nærmere gennemgået. Dernæst følger en kort gennemgang af præprocesseringen. I klassifikationsafsnittet bliver metoderne for klassifikationsproceduren gennemgået og forudsætninger og valg for kortlægningsprocessen nærmere beskrevet. En beskrivelse af vurderingsmetoder for usikkerheden af kortlægningen er også indeholdt i klassifikationsafsnittet.

I resultatafsnittet er vegetationskortene præsenteret og i den efterfølgende deldiskussion er usikkerhed og anvendelsesmuligheder for kortene nærmere beskrevet. Der er desuden præsenteret en analyse af plantetypernes indbyrdes betydning for spektralsignaturene.

Efter vegetationskortlægningen følger to separate sektioner, der anvender helt forskellige data og metoder i forhold til vegetationskortlægningen, og de er derfor præsenteret som separate enheder.

Retrospektiv analyse

I Sektion D er den retrospektive analyse af sne- og vegetationsdækket i Vestgrønland beskrevet. Metoder for estimering af snesmeltning og vækstsæsoner vil blive præsenteret og anvendt på to udvalgte lokaliteter i Vestgrønland. De indhentede NOAA AVHRR billeddata vil endvidere blive beskrevet og anvendelsen af dem præsenteret.

Home range analyser

I Sektion E om *home range* analyser er vegetationskortene anvendt sammen med positionsdata fra satellitmærkede rensdyr til at give et bud på anvendelsen af vegetationskortene. De estimerede *home ranges* anvendes til at beregne fordelingen af vegetationstyper i rensdyrenes *home ranges* på forskellige "årstider" (brunst, vinter, kælvning osv.).

Diskussion og opsummering

Til sidst i afhandlingen (Sektion F), vil en samlet diskussion opsummere anvendelsen af de præsenterede data og metoder. Forslag til metodeforbedringer vil endvidere blive introduceret.

Referencer og appendiks

Referencer og appendiks følger i Sektion G og H. Inkluderet i appendiks er blandt andet en kort introduktion til 'remote sensing'-baseret vegetationskortlægning i Arktis.

B.1.5.2 Data-CD

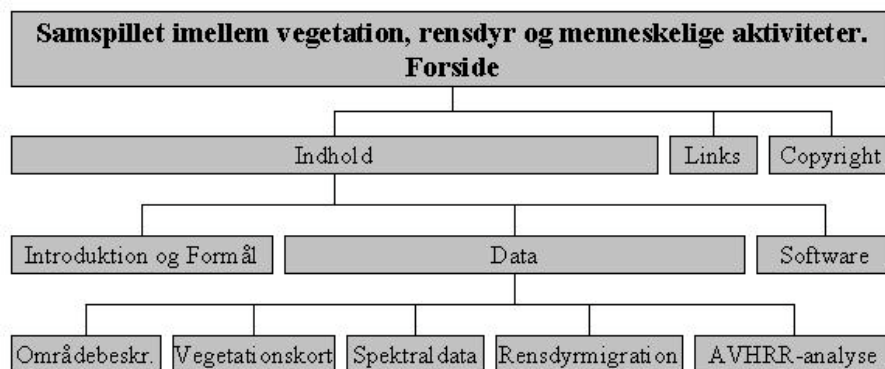
Vedlagt denne rapport er som nævnt en data-CD, hvor resultaterne fra RenVeg-projektet er præsenteret. I Figur B.2 er sammenhængen mellem afhandlingen og Data-CD'en vist og en strukturoversigt for den er vist i Figur B.3.

Data-CD'en er produceret af forfatteren, men indeholder informationer og data for hele RenVeg-projektet. Således er datagrundlaget for henholdsvis Rensdyrmigration og AVHRR-analyse rekvireret fra Grønlands Naturinstitut og Asiaq. Der henvises til afsnittet copyright på Data-CD'en for information om muligheder for anvendelse af dataene.

Data-CD'en er opbygget, så man ved anvendelse af en web-browser (Internet Explorer eller Netscape) kan få introduceret de forskellige datasæt på Cd'en og præsenteret hvordan de kan anvendes. På Cd'en ligger der helt ude

i roden en fil, Start.html, som kan åbnes i en web-browser. Siderne er optimeret til Internet Explorer 5, men tidligere versioner samt Netscape skulle vise stort set alt fra Cd'en på samme måde. Henvisning til og beskrivelse af nødvendigt software til visning af blandt andet vegetationskortene samt de virtuelle flyvninger er placeret under afsnittet, Software.

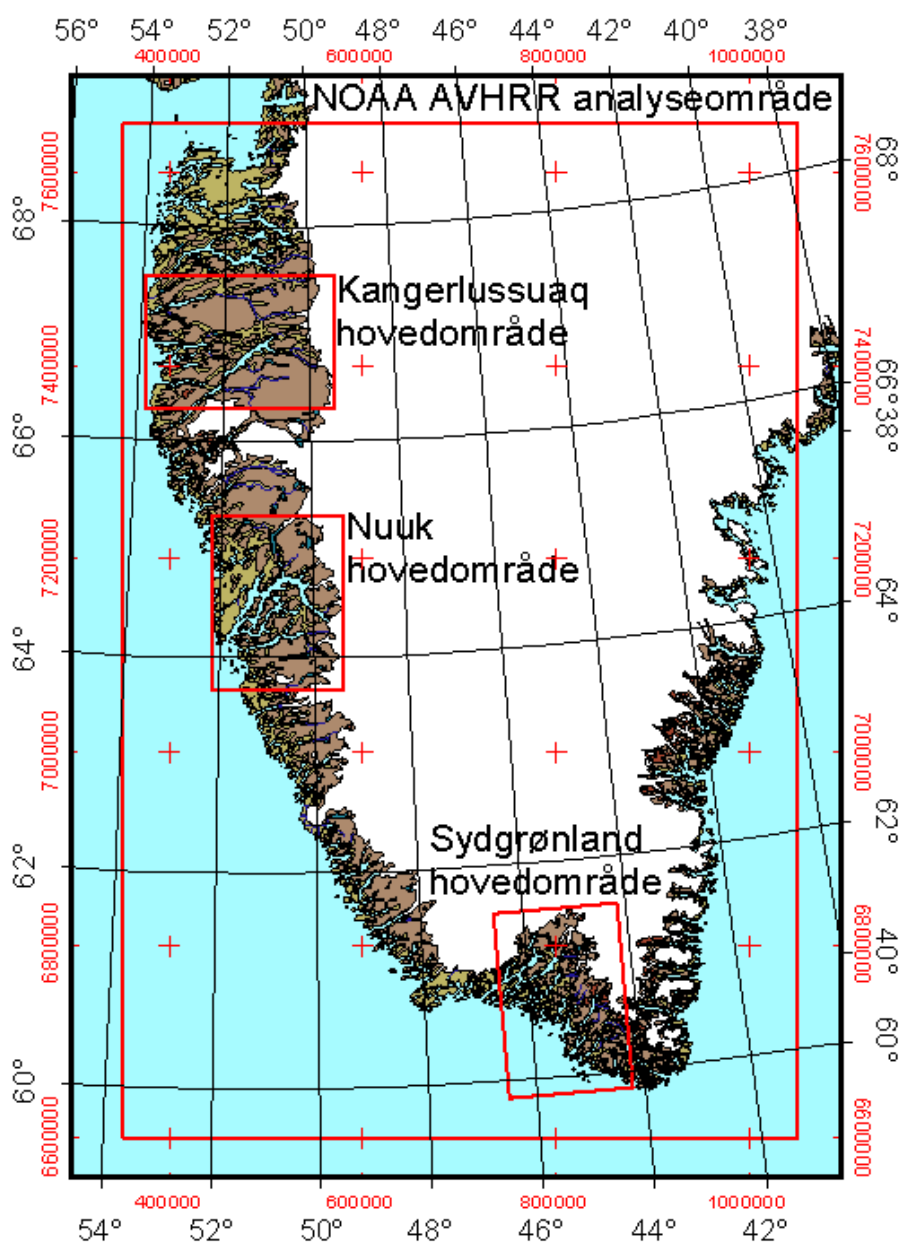
Det anbefales at data-CD'en er tilgængelig på en computer med browser under gennemlæsningen af afhandlingen (og specielt resultatafsnittene), da dette vil lette forståelsen af anvendelsen af data.



Figur B.3 *Strukturoversigt for den vedlagte Data-CD*

B.2 Områder, klima og vegetation

I det følgende kapitel præsenteres de analyserede områders geografiske udstrækning. Endvidere beskrives klimaets variation i de tre gradienter (nord/syd, kyst/indland samt topografisk) som findes både generelt og inden for hvert hovedområde. I den sidste del af kapitlet beskrives den arktiske vegetation og dens relation til klimaet i Vestgrønland. I det følgende anvendes betegnelsen Vestgrønland for området fra Disko til Kap Farvel.



Figur B.4 Oversigtskort med hovedområder og NOAA AVHRR analyseområde. De lyse farver i de isfri områder angiver højde over havet på maks. 300 m., brune farver: 300 – 1500 m.o.h. og mørkebrune: >1500 m.o.h.

B.2.1 Områdernes geografiske udstrækning

Undersøgelserne begrænser sig til vestkysten af Grønland fra Disko i nord til Kap Farvel i syd (Figur B.4). Indenfor dette område findes de største bestande af rensdyr, moskusokse og fårehold. Det er samtidig det mest befolkede område af Grønland, hvor menneskelige påvirkninger må anses for at være størst. Rensdyrbestanden anslås i 2000 til at være på cirka 35.000 rensdyr nord for Nuuk og et mindre ukendt antal syd for Nuuk (Sermitsiaq, 2000). Moskusoksebestanden i Vestgrønland holder primært til i et område sydøst for Kangerlussuaq og blev i 1996 anslået til cirka 3000 dyr (Pedersen og Aastrup, 2000). Fåreavl foregår i Sydgrønland med enkelte fåreavlere i dele af Vestgrønland. Antallet af får blev i 1999 anslået til cirka 21.000 i Sydgrønland og 300 i resten af Grønland (K. Motzfeldt, pers. komm.).

Hovedområder

Vegetationskortlægningen er begrænset til tre rektangulære hovedområder i henholdsvis Sydgrønland, omkring Nuuk og ved Sisimiut/Kangerlussuaq som vist i Tabel B.1.

Områdernes placering og udstrækning er foretaget på baggrund af dels kravet til at dække relevante områder, og dels begrænsningen, som dataudbudet giver. De valgte områder dækker de vigtigste områder for den nuværende bestand af vildren, moskusokser og fårehold. I Vestgrønland har der været anvendt så få Landsat TM satellitdata igennem de sidste 15 år, at kun en lille del af billederne er blevet gemt af udbyderen. Desuden er specielt kystegningerne på de rekvirerede satellitbilleder tit skydækkede og de pågældende billeder kan derfor ikke anvendes til kortlægning af overfladetyper.

Tabel B.1 Geografisk afgrænsning af hovedområderne (UTM koordinater er listet i appendiks H.5).

		Nordlig bredde	Vestlig længde
Sydgrønland	Nordvestlige hjørne	61°32'25"	46°34'48"
	Sydøstlige hjørne	59°49'56"	44°12'54"
Nuuk	Nordvestlige hjørne	65°18'50"	52°13'23"
	Sydøstlige hjørne	63°41'10"	49°25'22"
Sisimiut/- Kangerlussuaq	Nordvestlige hjørne	67°31'33"	53°57'17"
	Sydøstlige hjørne	66°18'25"	49°26'20"

Feltlokaliteter

Indenfor hvert område er der udvalgt flere delområder, hvori feltundersøgelser af vegetationstyper og deres spektralsignaturer er foretaget.

Følgende feltlokaliteter blev valgt og er vist på kort i appendiks H.3:

- Sydgrønland: Qassiarsuk, Tasiusaq, Vatnahverfi, Qaqortoq
- Nuuk: Itinnera, Kanassut, Kangerluarsunnguaq, Qussuk, Ilulialik
- Kangerlussuaq: Brayasø, Isunngua, Uutaap Kuua

I forbindelse med indsamling af data til usikkerhedsvurdering blev lokaliteter, der ikke tidligere var besøgt, valgt for at sikre uafhængighed fra de indsamlede feltdata. Lokaliteterne var placeret i Nuuk ved Narsarsuaq nord for Qussuk, Qajartariorsuaq i bunden af Ameralik samt ved helikoptertransekt over Akia. Ved Kangerlussuaq blev der gennemført helikoptertransekter syd og vest for lufthavnen. Nærmere beskrivelse af usikkerhedsvurderingen findes i afsnit C.4.3.1

B.2.2 Klima og klimagrader

Klimaet er en af de vigtigste faktorer for udbredelsen af planter på hele jorden og specielt i Arktis vil små ændringer i de klimatiske parametre med tiden føre til ændringer i vegetations sammensætning (Maxwell, 1992). Indenfor det undersøgte område i Vestgrønland er der tre overordnede klimatiske grader, som er med til at betinge de fysiske klimatiske forhold som planternes fordeling hovedsageligt er betinget af:

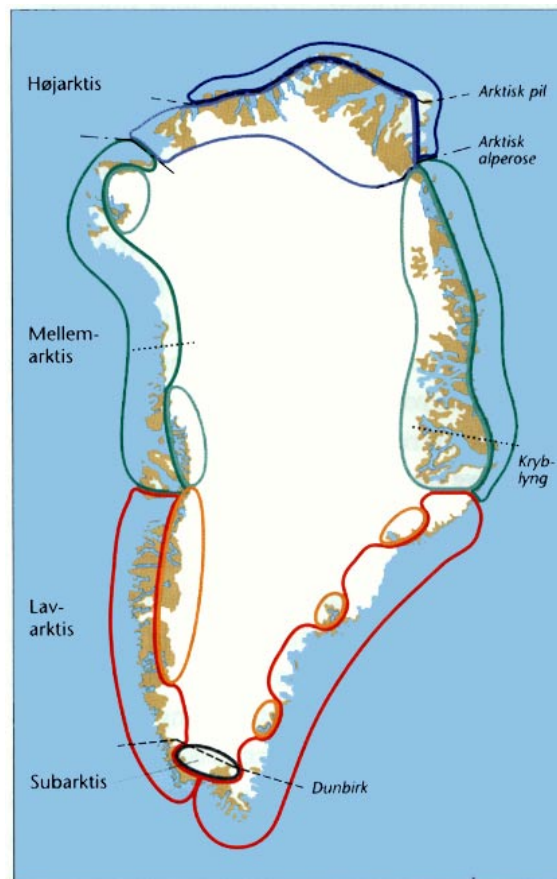
- Breddegradsbetingede grader (nord/syd forskelle)
- Kyst/indlands-grader
- Topografiske grader

Disse tre grader vil i sammenhæng danne basis for det klima, som de enkelte plantetyper vokser i. I det følgende vil klimaet i Vestgrønland blive beskrevet og gradienternes størrelse belyst for senere at kunne relatere disse til vegetationens udbredelse.

Klimazoner

B.2.2.1 Klimaet i Vestgrønland

Hele Grønland er på trods af sin udstrækning fra 59,8°N syd for polarcirklen til polarhavet ved 83,7°N placeret i den arktiske klimazone (AMAP, 1998). Den arktiske klimazone underinddeles i en højarktisk zone hvor gennemsnitstemperaturen i den varmeste måned ikke overstiger 5° og en lavarktisk zone hvor gennemsnitstemperaturen i den varmeste måned er mellem 5° og 10°. Kun få områder i det sydgrønlandske indland har middelsommertemperaturer lige over 10°C. Disse områder i Sydgrønland burde placeres i den boreale zone, men på grund af den manglende mulighed for økonomisk rentabelt skovdrift klassificeres disse områder i en overgangszone; den subarktiske klimazone (Hansen, 1999).



Figur B.5 Grønlands plantebælter. (Bay, 1997).

Botanisk kan Grønland inddeles i lignende zoner, der istedet for klima er defineret ud fra udbredelsen af enkelte plantearter. Inddeling af Grønland i plantebælter er foretaget af Bay (1997) og vist i Figur B.5. Udover en underinddeling af Arktis er også de enkelte zoner (højarktisk, lavarktisk etc.) inddelt i kyst og indlandszoner. Elvebakk (1985) konkluderer på baggrund af vegetationen i indlandet i Sydgrønland, at denne zone tilhører det boreale plantebælte, hvorimod Feilberg (1984) klassificerer området som placeret i den sub-kontinentale, subarktiske zone. Hansen (1999) beskriver overgangszonen imellem den tempererede nåletræszone (boreale zone) og den arktiske zone som subarktisk og inkluderer blandt andet Narsarsuaq i denne.

Det ses af figuren at alle tre hovedområder ligger i den lavarktiske klimazone på nær et lille område i Sydgrønland, som tilhører den subarktiske klimazone. På trods af at de er placeret i samme klimazone strækker de tre hovedområder sig over 8 breddegrader fra nord til syd (890 km) og dækker både arktiske oceaniske kystområder og kontinentale indlandsområder. Denne geografiske udstrækning medfører en klimaforskel imellem de enkelte hovedområder, men i høj grad også indenfor hver enkelt område.

Det vestlige Grønlands klima er præget af dels indlandsisen som opretholder et relativt konstant højtryk og dels af placeringen i den dominerende bane for vest-øst gående lavtryk. Denne placering er med til at udligne klimaforskellene i en nord-syd retning og muliggør situationer, hvor varm atlantisk luft kan trænge langt op i det arktiske bassin (Putnins, 1970).

Kontinentalitet og fugtighedsindeks

For nemmere at sammenligne og gruppere områder klimatisk er der udviklet indeks til beregning af blandt andet graden af kontinentalitet og fugtighed (Tuhkanen, 1980). Indeksene i Tabel B.2 angiver i hvor høj grad en lokalitet kan siges at være henholdsvis kontinental/maritim og hvor fugtig den er. Jo højere indeks, desto større kontinentalitet og fugtighed.

Tabel B.2 Kontinentalitets- og fugtighedsindeks for udvalgte lokaliteter på Grønlands vestkyst

Hovedområde	Lokalitet	Bredde	Længde	Års-middel (°C)	Årlig nedbør (mm)	Kontinentalitet ¹	Fugtighed ²	Data ³
Kangerlussuaq	Sisimiut [‡]	66°55'N	53°40'V	-3.8	383	21.3	61.2	1961-1990
	Kangerlussuaq [‡]	67°00'N	50°48'V	-5.6	140	39.0	31.8	1974-1990
Nuuk	Nuuk [‡]	64°10'N	51°45'V	-1.4	756	11.3	87.9	1961-1990
	Kapisillit [*]	64°20'N	50°15'V	-0.7	255	22.7	27.4	1939-1956
Sydgrønland	Qaqortoq [‡]	60°43'N	46°03'V	0.6	858	8.9	80.9	1961-1990
	Narsarsuaq [‡]	61°11'N	45°25'V	1.0	615	16.5	55.9	1961-1990
Reference-områder	Thorshavn, Færøerne [‡]	62°02'N	06°45'V	7.1	1433	0.3	83.7	1961-1990
	Irkutsk, Rusland [‡]	52°16'N	104°21'Ø	-1.0	458	60.9	50.9	1931-1960
	Station Nord, Grønland [‡]	81°36'N	16°40'V	-16.9	171	43.8	-24.8	1931-1960
	København, Danmark [‡]	55°41'N	12°32'Ø	8.6	600	19.6	32.3	1961-1990

[‡]: Data fra Danmarks Meteorologiske Institut

^{*}: Data fra Putnins (1970). Data fra Kapisillit er som vist fra en tidligere periode og sammenligning kan derfor være misvisende.

[‡]: Data fra Jensen og Cappelen (1994)

¹: Kontinentalitet beregnet efter Conrad (Tuhkanen, 1980)

²: Fugtighedsindeks beregnet efter de Martonne (Tuhkanen, 1980)

³: Periode for dataindsamlingen.

Kontinentalitetsindeks

Kontinentalitetsindeksene er beregnet efter Conrad (Tuhkanen, 1980) efter følgende formel:

$$\text{Kontinentalitet : } C = \frac{1.7 A}{\sin(\phi + 10^\circ)} - 14 \quad (\text{F 1})$$

hvor A = årlige temperatur amplitude i grader C
 ϕ = breddegrad i decimalgrader

Indekset beskriver i hvor høj grad en lokalitet er påvirket af indlandsklima i modsætning til et maritimt klima, der har væsentlig lavere varmekonduktivitet og dermed mindre årlige temperatursvingninger end kontinentale lokaliteter. Thorshavn på Færøerne er et eksempel på et ekstremt maritimt og meget fugtigt klima med et kontinentalitetsindeks på 0.3, mens Irkutsk i Rusland har et ekstremt kontinentalt klima med et kontinentalitetsindeks på 60.9.

Fugtighedsindeks

Fugtighedsindeksene er beregnet efter de Martonne (Tuhkanen, 1980) efter følgende formel:

$$\text{Fugtighedsindeks : } H = \frac{P}{T + 10} \quad (\text{F 2})$$

hvor P = årsnedbør i mm
T = årlig middel temperatur i grader C

Fugtighedsindekset beskriver mængden af nedbør i forhold til temperaturen på den givne lokalitet og anvendes bredt til at sammenligne nedbøren på flere lokaliteter med varierende temperatur.

For alle tre hovedområder ses det tydeligt, at kontinentaliteten stiger fra kyst- til indlandslokaliteterne, mens fugtigheden falder. For Kangerlussuaqområdet ses således en halvering af fugtighedsindeksene gående fra kyst til indland og en tilsvarende fordobling i kontinentalitetsindekset. Tilsvarende ændringer langs kyst - indland gradienten ses også i de andre hovedområder.

B.2.2.2 Stråling

Solindstråling i den nordlige del af Vestgrønland varierer på grund af den tætte beliggenhed på polarcirklen fra indstråling hele døgnet til ingen indstråling i vinterperioden. Længere mod syd udlignes det mere og her kan indstråling registreres hele året. Som et udtryk for solindstrålingen på Grønland kan dagslængden anvendes (Figur B.6).

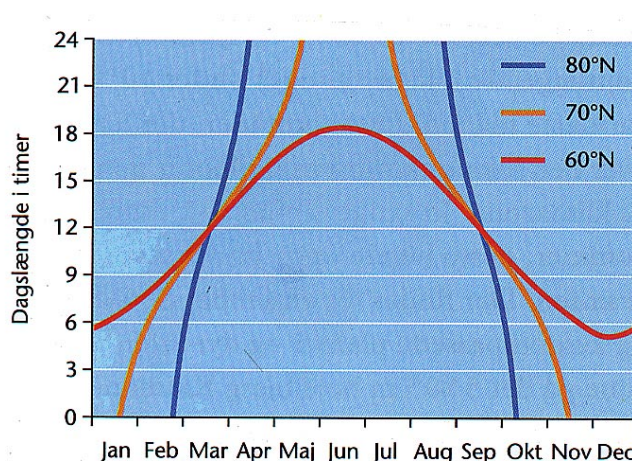
Indstrålingen på høje breddegrader foregår altså i løbet af sommeren hele døgnet, men grundet den lave solhøjde skal strålingen gennemtrænge en længere del af atmosfæren og den årlige indstråling er derfor lavere jo længere nord man bevæger sig.

Topografisk indflydelse på strålingen

Selve solstrålingen varierer ikke nævneværdigt med topografi eller fra øst til vest. Dog kan topografien have en lille indflydelse ved at strålingen for høje-religgende områder skal gennemtrænge mindre atmosfære, og dermed får en større intensitet end ved havoverfladen.

Større indflydelse har eksponeringen af overfladen. Nordvendte flader i det sydlige Grønland modtager aldrig direkte stråling i modsætning til områder nord for polarcirklen hvor midnatssolen medfører at selv nordvendte overflader modtager direkte stråling i dele af vækstsæsonen. I afsnittet om ter-

rænkorrektion af satellitbilleder (afsnit C.4.1.6) gives en nærmere beskrivelse af dette problem.



Figur B.6 Dagslængdens ændring igennem året ved 60°, 70° og 80° nord (Hansen, 1999).

B.2.2.3 Temperatur

Temperaturen i Vestgrønland varierer meget fra lokalitet til lokalitet. Forskelle forekommer både fra kyst til indland, nord til syd og fra havoverfladen til bjergtoppe.

Temperatur fra syd til nord

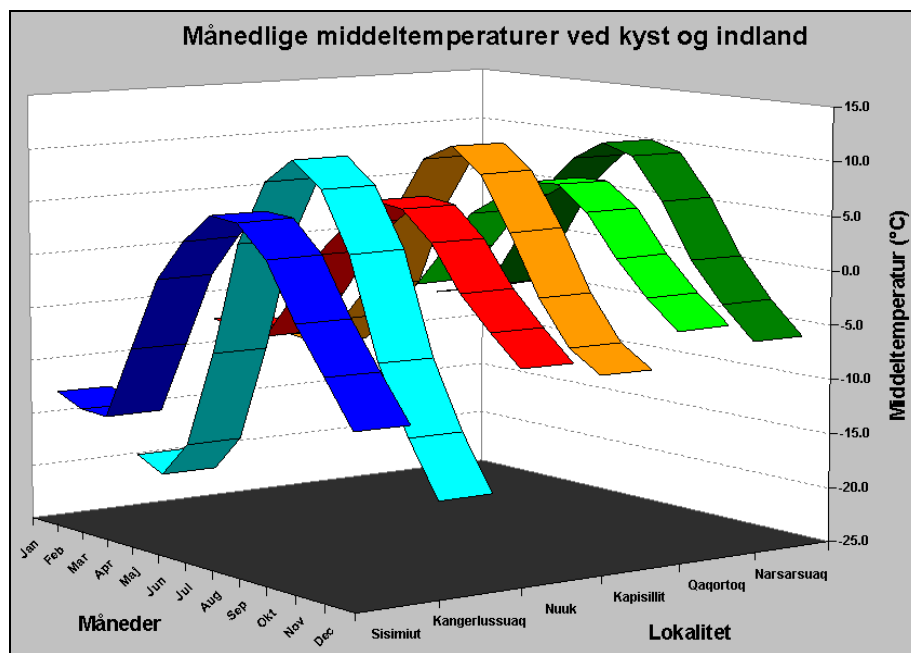
Fra nord til syd spiller ændringen i indstråling en væsentlig rolle for forskelle i temperaturen, men også placeringen i forhold til lavtryk har betydning. De tre kyststationer, Qaqortoq, Nuuk og Sisimiut har en årsmiddeltemperatur på henholdsvis 0.6°C, -1.4°C og -3.8°C. Middelsommertemperaturene ændrer sig dog ikke så meget, idet variationen fra Qaqortoq over Nuuk til Sisimiut er under 1°C (henholdsvis 7.1°C, 6.5°C og 6.3°C). Sydgrønland har i modsætning til resten af Vestgrønland seks måneder med en middeltemperatur over 0°C (hvilket muliggør landbrug i begrænset omfang i dette område). I Sydgrønland kan der dog i alle årets måneder forekomme nattefrost, som kan skade planterne. Dette skyldes at der syd for polarcirklen ikke er indstråling hele døgnet. Dermed vil overfladetemperaturen af lavtliggende overflader i skyfri nætter kunne falde til under frysepunktet, mens indstrålingen længere mod nord sørger for temperaturen holdes over frysepunktet.

De lavere gennemsnitstemperaturer mod nord medfører, at Vestgrønland går fra en diskontinuerlig permafrost i Sydgrønland til sammenhængende permafrost i den nordlige del (Jakobsen, 1999).

Temperatur fra kyst til indland

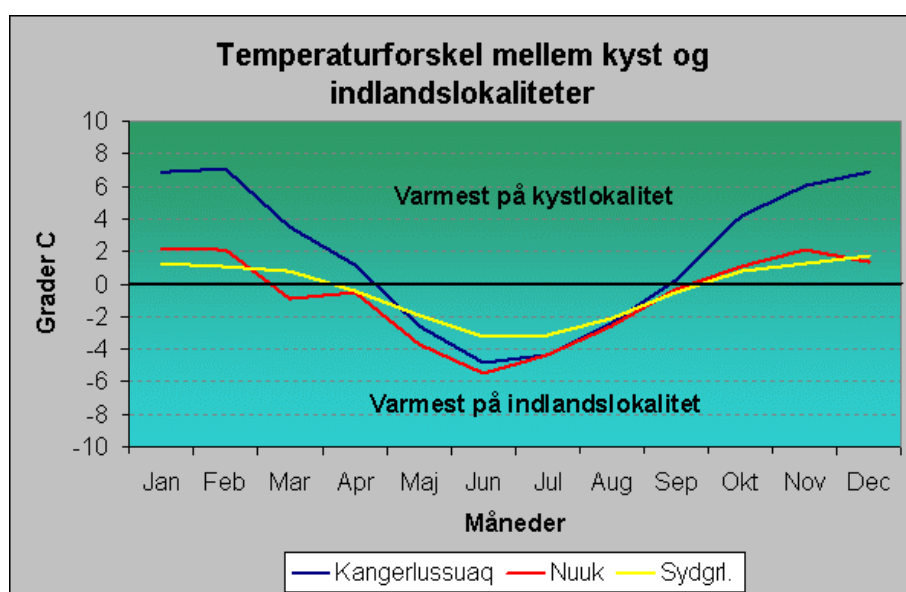
Større temperaturforskelle ses indenfor hvert hovedområde hvor skiftet fra kystklima til indlandsklima giver væsentligt lavere vintertemperaturer og højere sommertemperaturer. I Figur B.7 er de månedlige middeltemperaturer for kyst- og indlandslokaliteter i de tre hovedområder vist.

Forskellen mellem såvel vinter- som sommertemperaturer fra kyst til indland er stor i alle tre områder. Største forskel findes indenfor Kangerlussuaqområdet, hvor forskellene i middeltemperatur om vinteren når over 7°C.



Figur B.7 Månedlige middeltemperaturer for kyst- og indlandslokaliteter i de tre hovedområder (1961-1990). Data fra Frich et al. (1996).

Figur B.8 viser temperaturforskellen mellem kyst og indlandslokaliteterne. Det er tydeligt, at der udover en forskel internt i hvert område også er en forskel fra nord til syd, idet den årlige amplitude i temperatur aftager jo længere mod syd man kommer. Specielt i Kangerlussuaqområdet er der som nævnt stor forskel mellem kyst og indland med højere sommertemperaturer i indlandet. Årsagen til at forskellen i temperaturamplitude er større i Kangerlussuaqområdet end i de andre hovedområder er primært at fjordsystemet ikke er så forgrenet samt den noget større afstand til kysten. I både Sydgrønland og Nuukområderne er der store fjordsystemer, som kun fryser til i de inderste dele, mens der i Kangerlussuaqområdet kun er Sønder Strømfjord til at øve indflydelse. Der dannes dermed et mere kontinentalt klima, idet vandets varmekapacitet ikke får indflydelse på klimaet i samme grad som i de andre hovedområder.



Figur B.8 Forskel i temperatur mellem kyst og indlandslokaliteter. Forskellen mellem nord og syd kan endvidere ses ved den lavere årsamplitude.

I Sydgrønland medfører et relativt højt skydække ved kysten lavere temperaturer på mange af sommerdagene. En af grundene til det hyppige skydække i sommermånederne er 'storisen', som driver ned langs østkysten, rundt om Kap Farvel og når Sydvestgrønland i sommermånederne. De kolde isflader medfører kondensation af den varme, fugtige luft, hvilket kan resultere i tåge, specielt ved kysten.

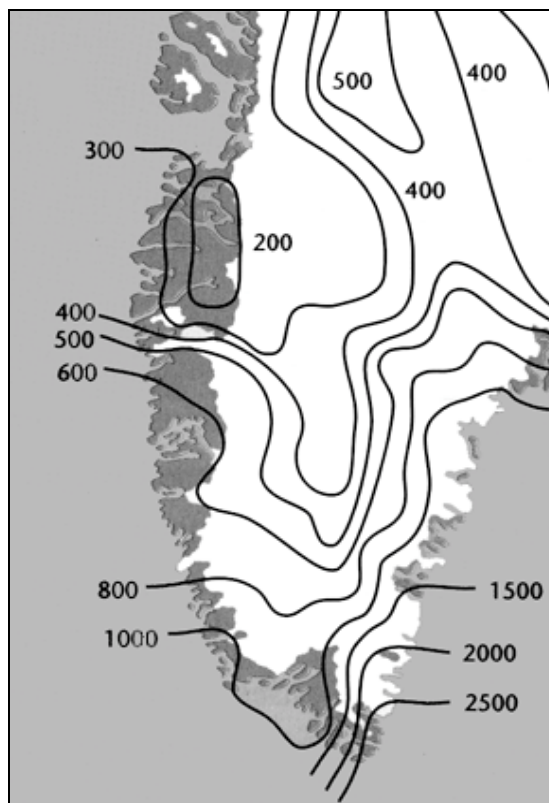
Temperaturvariation med højde over havet

Temperaturen varierer også med højden over havet (Henderson-Sellers og Robinson, 1986). Således aftager temperaturen for tør luft med cirka 1° per 100 meter (*tøradiabatisk lapse rate*) og i fugtmættet luft med cirka 0.5° per 100 meter (*fugtadiabatisk lapse rate*). For områderne i Vestgrønland, som har bjerge i op til 2100 m.o.h. vil den topografiske temperaturgradient således være mellem 10° og 20° afhængig af atmosfærens fugtighed og dermed udtryk for en større gradient end der ses fra kyst til indland eller fra syd til nord.

Topografien kan endvidere skabe nicher hvor lævirkning fra det omkringliggende terræn og eksponeringen af terrænet medfører et mikroklima med en væsentligt højere temperatur end generelt for området.

B.2.2.4 Nedbør

Generelt falder mængden af nedbør med stigende breddegrad på den grønlandske vestkyst (Figur B.9).



Figur B.9 Fordelingen af årlig nedbør i Vestgrønland i mm vandækvivalent. Kortet er ekstrapoleret ud fra nedbørsmålinger ved kysten og på isen (Modificeret fra Ohmura og Reeh, 1991).

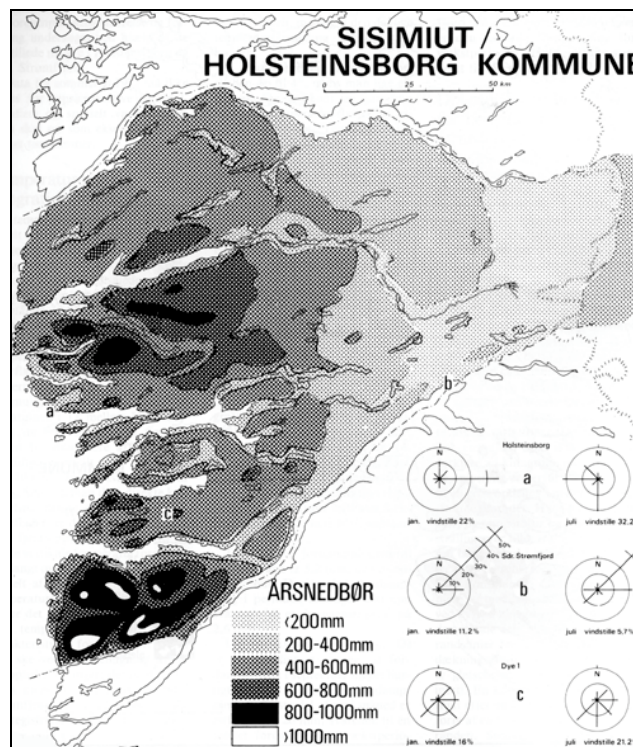
Den sydlige del af Vestgrønland passeres af mange østgående lavtryk og har som følge deraf væsentligt større mængder nedbør end den nordlige del af Vestgrønland. Ivittuut ($61^\circ 12'N$, $48^\circ 10'W$) har således en årsnedbør på ca.

1000 mm, hvorimod Sisimiut (66°55'N, 53°40'W) har en årsnedbør på under 400 mm (Frich *et al.*, 1996).

En stor del af nedbøren falder som sne. Ved Kangerlussuaq er det således kun 60% af nedbøren, som falder i sommermånederne. I forbindelse med kraftige vinde om vinteren kan en stor del af sneen blive omflyttet og dermed skabe et underskud af vand i den efterfølgende vækstsæson. Afsmeltningen af snedækket afhænger både af den indkommende stråling og mængden af sne der skal smeltes. I følge Hasholt og Søgaard (1978) slutter afsmeltningen i Kangerlussuaqområdet mellem 1. maj og 15. juli. Ved Nuuk er afsmeltningen nord for Godthåbsfjorden afsluttet omkring 1. juli (Sektion D). Afsmeltningstidspunktet varierer dog kraftigt afhængigt af primært nedbørsmængden, men også forekomsten af føhnvinde (afsnit B.2.2.5).

Nedbørsforskel fra kyst til indland

De største forskelle i nedbør forekommer dog tit indenfor det enkelte område. Forskellen skyldes mødet mellem den fugtige og lune atlantiske luftmasse på havsiden og den tørre arktiske luftmasse over indlandsisen. Specielt i sommermånederne, hvor højtrykket over indlandsisen giver tørre og varme dage i områderne tæt ved isranden er forskellen indenfor hovedområderne betydelig. I Figur B.10 er den årlige nedbørsfordeling ved Sisimiut og Kangerlussuaq vist i mm vandækvivalent.



Figur B.10 Årlig nedbørsfordeling indenfor hovedområdet ved Kangerlussuaq angivet i mm vandækvivalent (Hasholt og Søgaard, 1978).

Af Figur B.10 fremgår det, at der også indenfor hovedområderne kan forekomme store variationer i nedbøren. Nedbørskortet (Hasholt og Søgaard, 1978) er baseret på ekstrapolation af nedbørsmålinger fra 3-4 stationer samt en mere subjektiv bedømmelse af nedbørens fordeling ved inddragelse af topografi og forekomsten af saltsøer, israndslinier og snedækkets varighed. Hasholt og Søgaard (1978) viser derfor en lidt højere nedbør end Ohmura og Reeh (1991) (Figur B.9) som baserer deres kort på interpolation af data fra kyststationer, hvor orografisk nedbør ikke falder i samme grad som få kilometer længere fra kysten. Ved Sisimiut er der specielt to faktorer som spiller

ind, dels den orografisk betingede nedbør og dels lævirkningen fra Sukkertoppen Iskappe.

Topografisk betinget nedbør

Orografisk nedbør forekommer når fugtige luftmasser tvinges op af topografien og kondensation derved forekommer. Specielt syd og nordøst for Sisimiut hvor bjergene når op i 1800 m.o.h. medfører det nedbørsmængder på 1000 mm og derover.

Sukkertoppen Iskappe og fjeldene syd for Sisimiut ligger som en stor lægivende barriere for indlandet ved Kangerlussuaq (Hasholt og Søgaard, 1978). De fleste lavtryk, der kommer op langs Vestkysten vil afgive deres fugtighed til nedbør på syd- og vestsiden af Iskappen. Kun 140 mm nedbør falder om året ved Kangerlussuaq.

B.2.2.5 Vind

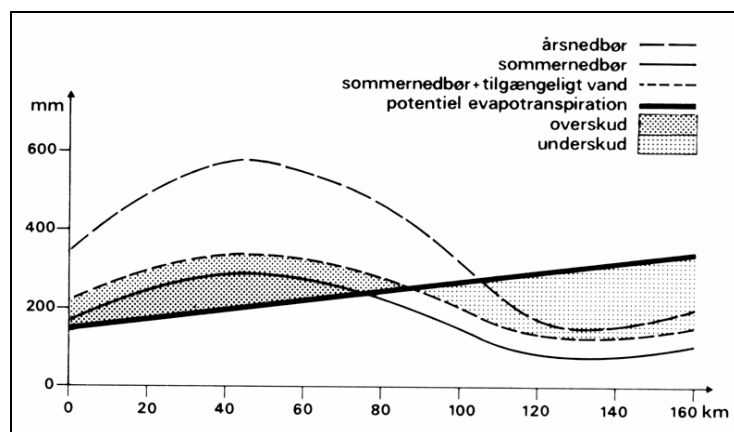
Vindforholdene i Vestgrønland er tit styret af den forskellige opvarmning af overflader som land/hav, land/is etc. Sammen med den opstigende varme luft i dalsystemer medfører det daglige mønstre i vindforholdene, som er relativt stabile for den enkelte lokalitet (Hansen, 1999).

Ved lavtrykspassager på østkysten kan der forekomme føhnvinde i indlandet af Vestgrønland. Føhnvinde er meget kraftige (30-60 m/s) og tørre vinde, som er dannet ved at fugtig luft presses op over indlandsisen med fugtadiabatisk temperaturfald, afgiver sin fugtighed og derefter under nedstigning opvarmes tøradiabatisk. Vindene kan medføre kraftige temperaturstigninger og specielt i løbet af vinteren og foråret kan dette give en kraftig og tidlig sneafsmeltning (Hansen, 1999). Ved Kangerlussuaq kan føhn resultere i store snefrie områder om vinteren, hvor den stærke frost og de kraftige vinde giver barske levevilkår for vegetationen (Fredskild, 1996).

Vindene i Vestgrønland er væsentlige for planterne også i vækstsæsonen da vinden øger fordampningen og dermed nedsætter den samlede mængde vand, som planterne har til rådighed.

B.2.2.6 Fordampning og jordvandsindhold

Den samlede fordampning (evapotranspiration) er vigtig for den samlede mængde vand, som er til rådighed for planterne i løbet af vækstsæsonen. I enkelte undersøgelser er denne estimeret for delområder af Vestkysten og Hasholt og Søgaard (1978) fandt at den potentielle evapotranspiration stiger fra 150 mm ved Sisimiut til cirka 300 mm ved Kangerlussuaq.



Figur B.11 Sommervandbalance fra Sisimiut til Kangerlussuaq (Hasholt og Søgaard, 1978).

Af Figur B.11 ses hvordan den potentielle evapotranspiration og lave nedbør i den østlige del af Kangerlussuaqområdet giver et underskud af væde til vegetationen. Placeringen af snefaner har således stor indflydelse på om planterne kan få vand nok. De steder hvor sneen flyger sammen om vinteren vil vandet være tilgængeligt ud på sommeren, mens der allerede i starten af vækstsæsonen kan være underskud af vand på de snefrie overflader.

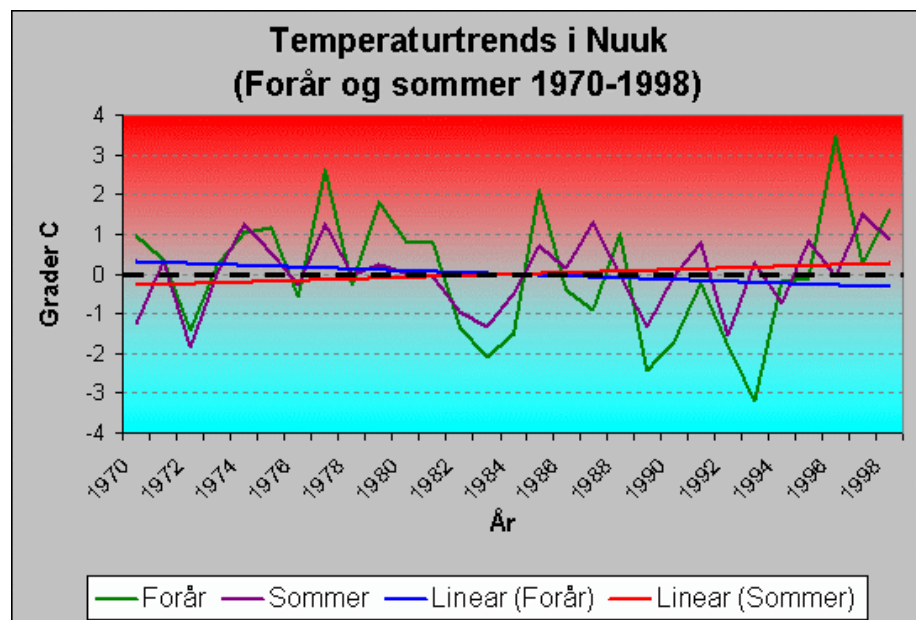
Hansen (1990) har i løbet af vækstsæsonerne i årene 1985-1989 målt potentiel evapotranspiration (E_p) ved Upernaviarsuk i Sydgrønland. Målingerne viser en kraftig sammenhæng mellem antallet af føhndage og E_p . Hvor der i 1985 i løbet af vækstsæsonen forekom 23 dage med føhn var E_p på 361 mm mens der i 1989 med kun 4 føhnvinde var en E_p på 160 mm. Ved lineær regression mellem E_p og antallet af føhndage på Hansen's (1990) målinger findes der et forhold med høj korrelationsværdi ($R^2=0.84$, $F=1.0 \cdot 10^{-7}$). Somre med få føhndage vil således efterlade mere jordvand til plantevæksten.

B.2.2.7 Klimatrends 1980-1998

I den retrospektive analyse af NOAA AVHRR billeder, som er beskrevet i Sektion D, er der anvendt billeder fra perioden 1983-1998. Da vejret er betingende for vegetationens udvikling, og dermed for hvad satellitten opfanger af reflekteret stråling, er der nedenfor vist trends i forår- (marts-maj) og sommertemperaturene og nedbør (juni-august) ved Nuuk i perioden fra 1970-1998 (Figur B.12 og Figur B.13).

Temperatur

Generelt for Nuuk ses der både i foråret og sommeren to kolde perioder i starten af 80'erne og starten af 90'erne om end den sidste er mest udtalt i foråret. I disse to perioder lå de gennemsnitlige temperaturer op til 3° under normalen for den viste periode. Omvendt var slutningen af både 80'erne og 90'erne lidt varmere end normalen med middeltemperaturer på over 3° varmere i forårsmånederne.



Figur B.12 Forår- og sommertemperaturenes afvigelse fra periodens middel ved Nuuk fra 1970-1998. Data fra Frich et al. 1996.

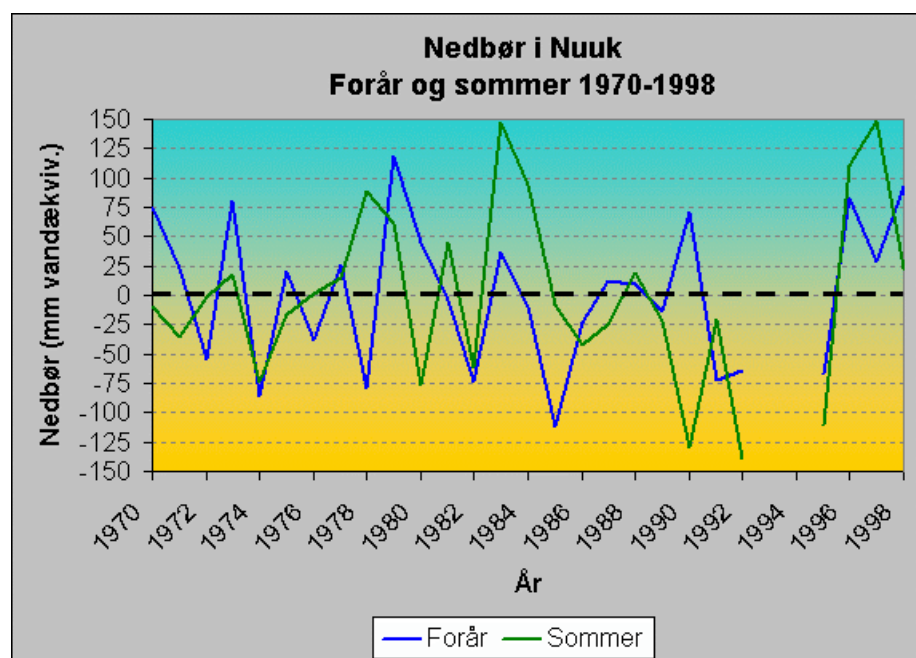
Den lineære regression (Figur B.12) viser en svag tendens til lavere forårstemperaturer end normalen for perioden. Sommertemperaturene viser dog en tilsvarende tendens til højere temperaturer end normalen. Disse trends på 0.5°C 's ændring i den pågældende periode er dog meget små sam-

menlignet med variationerne imellem årene på op til 6.6 graders forskel i middeltemperaturerne og derfor ikke signifikante (Anova test for forår og sommer: henholdsvis $P=0.51$ og $P=0.34$). Samtidig er det en relativt kort periode for studier af klimaændringer. Hansen (1999) har anvendt en væsentlig længere periode (1890-1998) og viser med 10-års glidende gennemsnit, hvordan temperaturen ved Nuuk siden 1960 har været faldende i vinterperioden, mens sommertemperaturerne har ligget relativt stabilt.

Nedbør

Nedbøren i Nuuk har stor variation mellem de enkelte år i perioden (Figur B.13). Op til omkring 300 mm har forskellen mellem nedbøren i to sommerperioder været ved Nuuk (1997 med 384 mm nedbør og 1992 med kun 96 mm). Nedbøren i hverken forårs- eller sommerperioderne viser nogen trends til mere eller mindre nedbør.

I midten og slutningen af 1980'erne var der generelt lavere nedbør (i begge perioder). I 1991 faldt der tilgængelig mere nedbør om foråret end normalt og hele 125 mm mindre om sommeren end middel for perioden.



Figur B.13 Sæsonafvigelser fra middelnedbøren i perioden 1970-1998. (Data fra Frich et al. (1996) samt Asiaq).

Derefter faldt nedbøren i begge sæsoner, så der har været et par tørre år i 1992 og 1995. For 1993 og 1994 findes der ikke data for hele forårs- og sommerperioden. I 1996-1998 stiger nedbøren i begge perioder og ligger over middelnedbøren om end sommernedbøren i 1998 kun ligger en smule over middelnedbøren.

Klima for år med satellitdata

I dataafsnittet præsenteres satellitdataene, der anvendes i vegetationskortlægningen. Disse inkluderer billeder fra 1993 og 1995-1997. I 1993 var foråret med 3° under normalen væsentligt koldere end andre år (Figur B.12). Sommertemperaturerne var til gengæld normale og effekten for vegetationen kan derfor være svær at forudsige. Endvidere er nedbør en vigtig parameter som nævnt ikke tilgængelige. 1995 og 1997 var relativt ens i deres temperaturforhold. Begge havde normale forårstemperaturer og kun lidt varmere sommertemperaturer (cirka 1°) end normalen. 1995 var derimod et tørt år i både forår og sommerperioden hvor 1997 har væsentligt højere nedbør end normalt om sommeren. Forårsnedbøren i 1997 lå kun lidt over middelnedbøren.

ren for den analyserede periode. Temperaturerne i 1996 var i lighed med 1993 ud over det normale. Her var forårstemperaturerne usædvanligt højere (cirka 3°) end normalt. Sommertemperaturerne fulgte normalen. Med forårstemperaturer så høje i forhold til normalen er der stor sandsynlighed for en tidlig snesmeltning og dermed en forlængelse af vækstsæsonen. Nedbørmængden om foråret lå dog cirka 80 mm over middel mens sommernedbøren lå over 100 mm over middel. Med høj temperatur og mere vand end normalt har 1996 vækstsæsonen sandsynligvis været en god sæson for vegetationens levevilkår.

B.2.3 Arktisk vegetation og dens tilpasning til klimaet

Vegetationen i Arktis er begrænset af klimaet (temperatur og nedbør), topografi og jordbundsforhold (f.eks. næringsstoftilgængeligheden), som tilsammen udgør de abiotiske forhold (Bliss og Matveyeva 1992, Tuhkanen 1980).

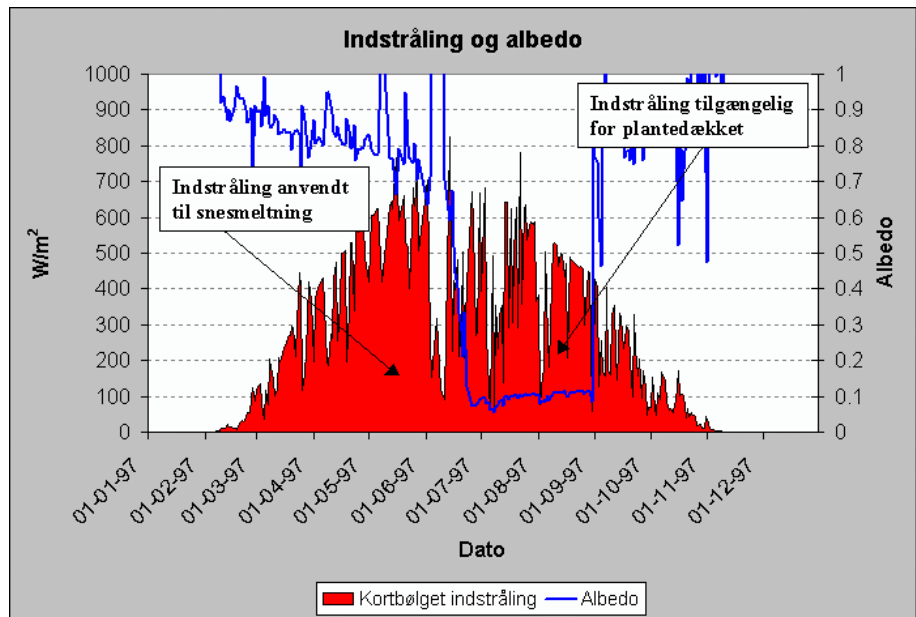
Som beskrevet ovenfor i afsnit B.2.2 ligger Vestgrønland i den arktiske klimazone, hvor sne og temperaturer under frysepunktet dominerer i op til 9 måneder af året. Dette medfører blandt andet at vækstsæsonen starter væsentlig senere end på lavere breddegrader, og at planterne har kortere tid til at gennemføre deres livscyklus samt allokere energi og næring til vækst, vedligehold og reproduktion (Maxwell, 1992). På grund af denne meget korte vækstsæson forekommer der ofte år, hvor spiring og blomstring ikke gennemføres og derfor må vente til året efter. Som resultat af dette er de fleste karplanter i Grønland flerårige, som ikke behøver at reproducere hvert år (Bay *et al.* 1999, Philipp 1987).

B.2.3.1 Stråling

I Arktis er den indkommende stråling om sommeren, på grund af de lange dage, i størrelsesorden med totalindstrålingen på lavere breddegrader. På grund af den høje refleksion fra snedækkede overflader i foråret går kun en lille del dog til opvarmning af jordoverfladen og atmosfæren (Maxwell, 1992). Snedækket smelter først bort i løbet af maj-juni, hvor indstrålingen når sit maksimum. Planterne skal derfor klare sig med den stråling, som er til rådighed herefter.

I Figur B.14 er der vist et eksempel fra en *Cassiope tetragona* overflade nord for polarcirklen ved Zackenberg i Østgrønland. Indstrålingen stiger efter solens tilbagekomst i februar til maksimum i slutningen af juni. Sneafsmeltningen er på figuren vist ved albedo, der under afsmeltningen falder fra cirka 0.8 for fuldt snedække til 0.1 for en snefrie overflade. Over halvdelen af den tilgængelige stråling går til snesmeltning. Snedækket i Vestgrønland smelter af i maj og juni og lader således vegetationen få lidt mere del af indstrålingen. At indstrålingen ikke er jævn skyldes at skydække gennem vækstsæsonen nedsætter indstrålingen og dermed også den tilgængelige energi for plantevækst og reproduktion.

Mange arktiske planter har derfor en lav tolerance for lysintensitet for at kunne udnytte stråling ved lave intensiteter. Fra studier på Kolahalvøen har det længe været kendt at fotosyntese kan foregå i den arktiske nat og kan udgøre op til 25% af den samlede fotosyntese (Semikhatova *et al.*, 1992).



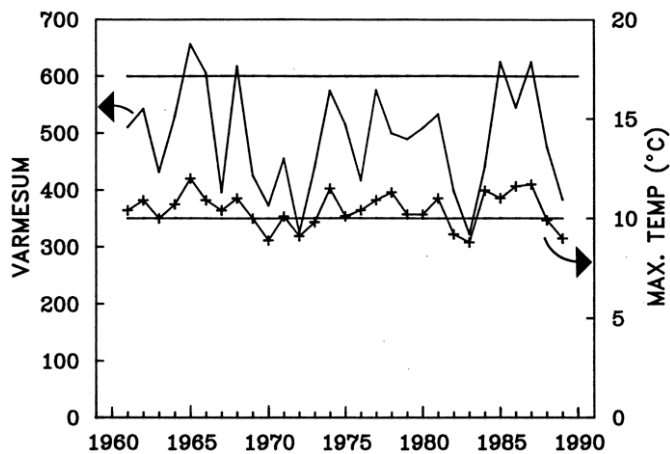
Figur B.14 Eksempel på solindstråling tilgængelig for vækst ved arktisk vegetationsdække (*Cassiope tetragona*). Albedoens fald omkring 30/6 er udtryk for sneafsmeltningen. (Data fra Danish Polar Center, 1998).

B.2.3.2 Temperatur

Temperaturen i Arktis er en af få faktorer, som adskiller disse områder fra områder med tilsvarende lav produktivitet (f.eks. ørkener og havet), idet frost forekommer i det meste af året og til tider endda i løbet af vækstsæsonen. For Vestgrønland når middeltemperaturene over 0°C i 4-6 måneder om året, selvom den kun i få tilfælde overstiger 10°C (afsnit B.2.2.1).

Varmesum

Primærproduktionen i Arktis er vist at være tæt korreleret med den effektive varmesum (Hansen, 1991b). Den effektive varmesum måles i graddage og skal overstige en kritisk værdi, som er artsspecifik. Varmesummen er her defineret ved summen af dagsmiddeltemperatur, som overstiger 5°C. Hansen (1991a) har gennem beregning af varmesummen for hvert år i perioden 1960-1990 vist hvordan *Betula pubescens* i Sydgrønland vokser tæt ved sin nordgrænse (Figur B.15).



Figur B.15 Varmesum for Narsarsuaq i Sydgrønland samt middel af maksimumstemperaturerne for samme lokalitet. Den vandrette linie ved varmesum=600 angiver den kritiske grænse for *Betula pubescens* (Hansen, 1991a).

Betula pubescens kræver ifølge Kauppi og Posch (1988) en varmesum over 600 for at kimplanter kan dannes. Kun i fem somre indenfor den viste 30-års periode kom varmesummen over denne grænse (1965, 1966, 1968, 1985 og 1987). I de mellemliggende år kan planter således ikke reproducere og danne nye skud.

Tilpasning til lave temperaturer

For at tilpasse sig de varierende temperaturregimer i Arktis og opnå en succesfuld vækstsæson er planterne tilpasset enten ved i mikroklimaet helt at undgå de meget lave temperaturer eller ved at tolerere dem (Philipp, 1987).

Planter som undgår de lave temperaturer har en eller flere af følgende karakteristika:

- Lav vækst eller pudeform for at de vitale dele er så tæt ved den relativt varmere jordoverflade (f.eks. *Silene acaulis*)
- Pigmentering, som hæver temperaturen i planten eller behåring som isolerer planten fra temperaturen af den omkringstående (f.eks. *Saxifraga caespitosa* og *Salix arctica*)
- Parabolformede blomster som samler varmen og dermed hæver temperaturen omkring frøanlæggene (f.eks. *Papaver sp.*)
- Heliotrope bevægelser hvor blomsten drejer sig efter solen for at maksimere varmesummen (f.eks. *Dryas integrifolia*)

Planter, som tolererer de lave temperaturer, transporterer vandet væk fra cellerne så disse dehydreres og dermed ikke lider frostskafer. Når temperaturen igen overstiger frysepunktet rehydreres cellen uden at denne har taget skade (Sakai og Larcher, 1987). Planter af denne type er for eksempel *Potentilla hyparctica* (Philipp, 1987).

De fleste planter tåler ikke at vokse steder, hvor de er uden snedække hele vinteren. Tolerancen er dog varierende og nogle planter kan vokse på steder med tyndt snedække, hvor andre kræver et tykkere snedække for at forhindre skader fra frost og vindslibning. Til den sidste type hører for eksempel *Casiope tetragona*.

Fotosyntesen begrænset af lave temperaturer

Den optimale temperatur, hvor de arktiske planter kan assimilere CO₂, ligger typisk 7-10°C højere end lufttemperaturen i Arktis og indikerer hermed at fotosyntesen er begrænset af temperaturen i det meste af vækstsæsonen (Semikhatova *et al.*, 1992). Limbach *et al.* (1982) har i et forsøg med blandt andet *Betula nana* og *Carex stans* vist at den maksimale fotosyntese forekommer ved temperaturer på henholdsvis 18°C og 22°C, med næsten en fordobling af fotosyntesen i forhold til middeltemperaturerne for arktiske økosystemer. Mere konservative estimater kommer fra en model af Søgaard og Nordstrøm (1999), som anslår den maksimale fotosyntese til at foregå ved 2°C over middeltemperaturen omkring planten.

Frøspiring betinget af temperaturen

Frøspiring forekommer normalt kort efter snesmeltningen, mens jordbunden er fugtig og temperaturen i jorden er kommet op på 10-15°C (Bay *et al.*, 1999). Så længe lufttemperaturen holder sig omkring 15-20°C kan spiring ske hele vækstsæsonen, hvor der er fugtighed i jorden (Philipp, 1987). Forsvinder fugtigheden kan spiring ikke foregå, hvilket i Arktis er den hyppigst forekommende begrænsning for frøspiring (Oberbauer og Dawson, 1992).

B.2.3.3 Vandtilgængelighed

Vand er vigtigst for fordelingen af vegetationstyperne i landskabet og er den økologiske faktor, som korreler bedst med vegetationstypen (Jonasson *et al.* in press, Oberbauer og Dawson, 1992). Nogle planter kræver meget lidt fug-

tighed og skal stå tørt, mens andre skal have konstant vandbevægelse igennem vækstsæsonen (f.eks. *Eriophorum scheuchzeri*).

Snesmeltning karakteriseres som den mest dominerende hydrologiske begivenhed for vegetationsdækket (Kane *et al.*, 1992). Ydermere ændres refleksionen af overfladen fra omkring 80% fra en snedækket overflade til under 20% fra snefrie overflader hvilket muliggør en opvarmning af jordoverfladen og atmosfæren.

Evapotranspirationen er den vigtigste årsag til vandtab i Arktis (Kane *et al.*, 1992). I nogle egne medfører dette et underskud i vandbalancen, som gør at kun planter med en hvis tolerance overfor vandmangel kan vokse disse steder. I områder med permafrost kan den gradvise smeltning af aktivlaget give det vandtilskud, som kræves for at vandkrævende planter kan trives (Jakobsen, 1999). Udtørringen af overfladejorden vil endvidere danne en effektiv barriere mod yderligere fordampning fra det dybereliggende aktivlag således at al fordampning kommer fra transpiration.

I reliefrige områder (som f.eks. Vestgrønland) spiller topografien en stor rolle for vandtilgængeligheden (Jonasson *et al.*, in press). Således er højreliggende områder tit meget tørre, mens lavlandet, hvor smeltevand og nedbør samles, er fugtigt (Kane *et al.*, 1992).

B.2.3.4 Næringsstoffer

Arktiske økosystemer er oftest stærkt næringsbegrænsede som følge af langsom omsætning på grund af lave temperaturer (Nadelhoffer *et al.*, 1992). Planternes vækst betinges i størst omfang af klimaet, men i det enkelte samfund, hvor planterne har tilpasset sig klimaet, er det næringsstofferne, som begrænser udviklingen af planterne.

Kvælstof og fosfor

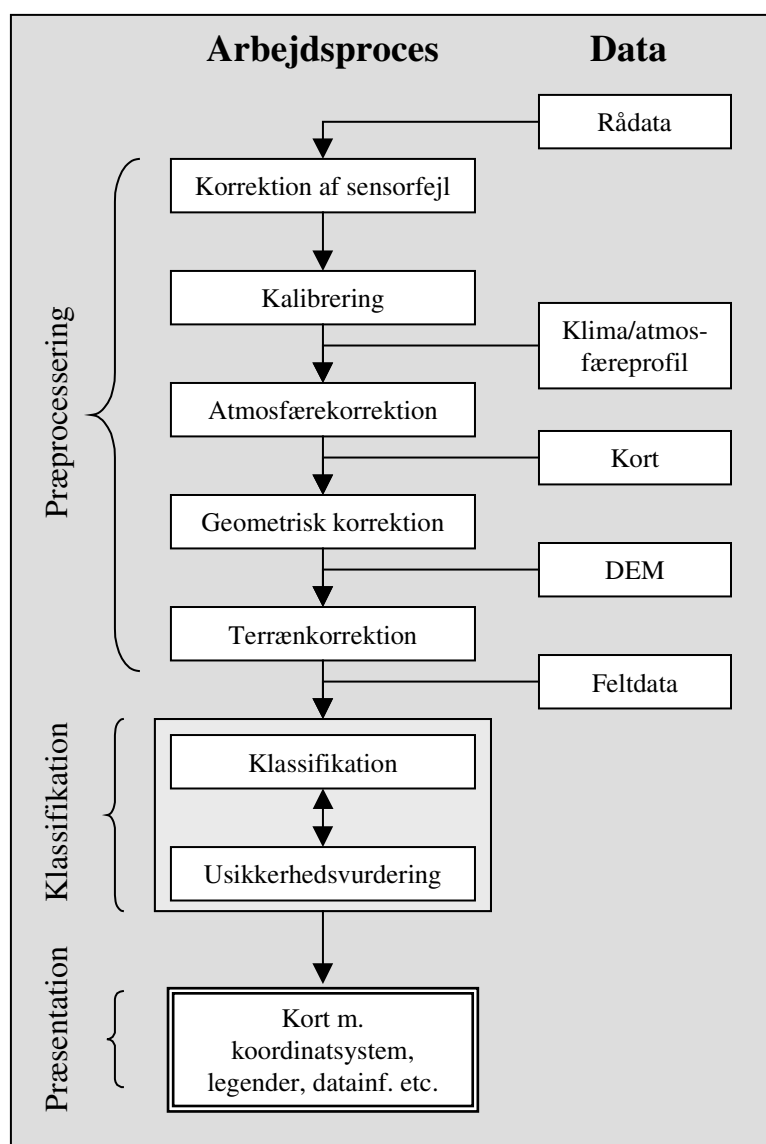
Gennem de sidste år er der for at simulere effekter af globale klimaændringer foretaget mange forsøg med øget næringstilskud til arktiske økosystemer. Den vigtigste begrænsning i næringsstoffer stammer fra kvælstof (N), men også fosfor (P) er begrænsende for væksten i vegetationen, særligt i vådområder. Ved tilførsel af kvælstof eller fosfor viser alle forsøg en øget vækst af arktiske plantetyper (Berendse og Jonasson, 1992). Mange planter kan anvende oplagrede og recirkulerede næringsstoffer og dermed udnytte tidligere optagede næringsstoffer, når det er påkrævet (Berendse og Jonasson, 1992). Da denne remobilisering af næringsstoffer kan foregå under frysepunktet sikres det, at planterne har tilgængelige næringsstoffer ved starten af vækstsæsonen, således at væksten kan påbegyndes inden jorden er tøet. Derved kan den korte vækstsæson udnyttes optimalt.

C Vegetationskortlægning

I de følgende kapitler vil vegetationskortlægningen blive præsenteret. Under *Datagrundlag* og *Feltundersøgelser* er de anvendte data beskrevet. I *Metode*-afsnittet er metoderne for dels feltundersøgelserne og dels processeringen af satellitdata beskrevet. I *Resultater* præsenteres endelig de færdige kort og spektralsignaturer, hvorefter de diskuteres i *Diskussion for Vegetationskortlægningen*.

C.1.1 Databearbejdning

De følgende afsnit vil introducere læseren til fagspecifikke termer indenfor satellitbilledbehandling og kort beskrive databearbejdningen ved anvendelse af disse data til kortlægning i Arktis. Beskrivelserne er korte, efterfulgt af nogle nøglereferencer om emnet. Figur C.1 viser rækkefølgen for processering af rådata fra en satellitsensor, som Landsat TM, og hvilke eksterne data, der er nødvendige for processeringen af disse data.



Figur C.1 Flowdiagram for arbejdsprocessen ved præprocessering, klassifikation og præsentation af rådata fra satellit. (DEM ~ Digital højde model).

Arbejdsprocessen er anvendt på satellitdataene i dette projekt om end enkelte af leddene er udelukket i processeringen af flere eller alle billeder. Blandt andet er korrektion af sensorfejl kun foretaget på de billeder som havde en kraftig stribning, der havde indflydelse på resultaterne. Stribning forekommer på nogle gamle sensorer og forværres over tid (Uddybet i afsnit C.4.1.1)

Terrænkorrektion er ikke foretaget, idet den tilgængelige højdemodel var i for lav opløsning (100 m kurver) og derfor tilføjede mere støj til klassifikationen end den korrigerede (afsnit C.4.1.6).

C.1.1.1 Præprocessering

Præprocessering er nødvendig inden der kan foretages egentlige analyser af satellitdata. Denne processering kan efter behov omfatte alle eller enkelte af følgende processer:

- Destribning og fjernelse af sensorfejl
- Kalibrering af data
- Atmosfærisk korrektion
- Geometrisk korrektion og resampling
- Terrænkorrektion

Sensorfejl

I sensorer i satellitter sker en ældning (henfald), som giver sig udtryk i ændrede kalibreringer og til tider deciderede fejl. Dette medfører f.eks. stribning af billederne og endda udfald af data. Som eksempel kan gives Landsat 5 TM, som primært er anvendt i denne vegetationskortlægning. Hvert bånd skannes af et sæt på 16 detektorer, hvor enkelte eller flere af disse har oplevet en relativ ændring i forhold til de andre, der medfører stribning.

Mange metoder til korrektion af disse fejl er efterhånden introduceret (Crippen 1989, Green *et al.* 1988, Helder *et al.* 1992, Simoncelli, E.P. 1996). Hvis data senere skal bruges til kvantitative analyser er det dog vigtigt, at der tages hensyn til metoden. En ordinær destribning (middel af givent antal linier og korrektion til samme middelværdi) kan medføre en kraftig ændring i de originale værdier og dermed misvisende kvalitative værdier. Metoder til at fjerne støj med en minimal ændring af selve signalet fås gennem metoder som *Minimum noise Fraction (MNF)* og *Fast Fourier Transform (FFT)* (Green *et al.* 1988, Jensen 1996). MNF og FFT er begge blevet anvendt og er beskrevet nærmere i afsnit C.4.1.1.

Kalibrering

Data, som hentes ned fra satellitten, ligger som nævnt ovenfor i heltalsværdier, der ikke umiddelbart har nogen fysisk værdi. Ved kalibrering kan disse værdier dog omregnes til radians (W/m^2), som så kan anvendes til beregninger af overfladeparametre (refleksion, albedo, temperatur osv.). Før satellitten opsendes kalibreres sensorerne og kalibreringskonstanterne offentliggøres som *pre-launch calibration* (NASA, 1986). For Landsat 5 TM er der efter opsendelsen foretaget adskillige *post-launch calibration* eksperimenter, hvor der kalibreres på baggrund af kendte *lambertian* overflader (Chavez 1989, Markham og Barker 1985, Moran *et al.* 1995, Olsson 1995, Price 1987, Thome *et al.* 1993 og Wucelic *et al.* 1989). For eksempel er ørkenoverflader anvendt, idet refleksionen af disse er nær konstante over kortere tidsperioder. AVHRR er gennem de sidste 5 år blevet anvendt til flere tidsserieanalyser på basis af 3-4 forskellige sensorer. I afsnit D.3.1.1 er der givet eksempler på fejlkalibreringer af disse individuelle sensorer.

Atmosfærisk korrektion

Atmosfærens indhold af gasser og partikler er med til at ændre det signal, som reflekteres fra overfladen inden det når satellitten. Således kan det være nødvendigt at korrigere det målte signal for at opnå værdier fra satellitten, som kan sammenlignes med overflademålte parametre. I afsnit C.4.1.2 vil dette emne blive beskrevet nærmere og de anvendte metoder præsenteret.

Betydningen af atmosfærisk korrektion for remote sensing er gennem de sidste 15 år blevet dokumenteret i adskillige publikationer hvor metoderne har udviklet sig fra enkle empiriske korrektioner til korrektion baseret på avancerede atmosfæremodeller. Chavez (1988) anvender således en modificeret *dark object subtraction* teknik, Gilabert *et al.* (1994) inkluderer en simpel *radiative transfer model* og input fra Landsat TM, mens Vermote *et al.* (1997) præsenterer 6S modellen (Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum), som tager højde for flere gasser, processer etc. end tidligere modeller.

Geometrisk opretning

For at kunne anvende satellitbilledet i en geografisk sammenhæng skal det oprettes til et kendt koordinatsystem (Jensen, 1996). Dette gøres ved geometrisk opretning, hvor billedet drejes og vrides for at passe til den givne overflade. Først udvælges punkter med kendte koordinater i satellitbilledet, såkaldte *ground control points (GCP's)*, typisk baseret på topografisk kortlægning, som billedet derefter kan oprettes til. Til selve oprettelsen af billedet anvendes en polynomiums-funktion. Graden af polynomiet vælges på basis af i hvor høj grad satellitbilledet er strukket og drejet i forhold til det virkelige kort. 1. gradspolynomier anvendes hvor alle pixels ligger rigtig i forhold til hinanden, men hvor billedet skal drejes i et todimensionalt rum. 2. og fler-gradspolynomier anvendes, hvor billedet også skal strækkes i større eller mindre grad. En opretnings-usikkerhed beregnes på baggrund af GCP'ernes afvigelse fra de rigtige koordinater.

En eventuel resampling for at ændre den spatiale opløsning køres normalt samtidig med den geometriske opretning. Denne foretages for at opnå samme pixelstørrelse som andre informationslag, f.eks. terrænmodel, tidligere vegetationskort eller lignende (Lunetta *et al.*, 1991).

Terrænkorrektion

Et satellitbillede fremstår som refleksion af solstråling fra en masse pixels på samme horisontale overflade. I realiteten er denne overflade sjældent horisontal i arktiske egne, men består af pixels med forskellig hældning og orientering afhængig af terrænet i det givne område. Ved klassifikation og beregning af kvalitative parametre kan forskellen i hældning og orientering medføre væsentlige fejl, idet pixels på ikke horisontale flader fremstår med en anden spektralsignatur end pixels med samme overflade på en horisontal flade. Terrænkorrektion er et andet af de emner inden for præprocessering, som har set mange publikationer indenfor de sidste 20 år. Holben og Justice (1980) præsenterede effekten af topografisk indflydelse på Landsat-værdier og Proy *et al.* (1989) beskriver en model til korrektion af disse effekter. Hansen *et al.* (2000) præsenterer en kombination af tidligere modeller til korrektion af atmosfære- og terræn-inducerede fejl. I afsnit C.4.1.6 vil terræneffekterne blive nærmere præsenteret.

Multitemporale datasæt

For at dække et område med højopløselige satellitdata kan det være nødvendigt at anvende flere satellitbilleder, som tilsammen vil dække det pågældende område (Sabins, 1987). Hvis data ikke tilsvarende samme forhold (f.eks. tidspunkt på året) vil en samlet klassifikation af vegetation vanskeliggøres, da vegetationen også spektralt ser forskellig ud på forskellige tidspunkter i vækstsæsonen (Jensen, 2000). I afsnit C.4.1.7 vil dette problem blive beskrevet.

C.1.1.2 Klassifikation

For at opnå en overskuelig og brugbar tolkning af overfladetyperne i et satellitbillede foretages en klassifikation. Herved kombineres pixelværdierne i de forskellige bånd i klasser med samme information. Generelt findes der to former for klassifikation:

- *Unsupervised* (ikke superviserede) klassifikation
- *Supervised* (superviseret) klassifikation

Metoderne adskiller sig ved at analytikeren af dataene er aktivt involveret i *supervised* klassifikation, mens *unsupervised* klassifikation foretages automatisk udelukkende på baggrund af billederne. Kombinationer af disse er dog udviklet og testet i flere studier (Jensen 1996, Joria og Jorgenson 1996).

Unsupervised klassifikation

Den ikke superviserede klassifikationsmetode anvender udelukkende refleksionsdata fra satellitbillederne til at klassificere efter. Dermed produceres ikke nødvendigvis klasser som er relevante for det pågældende studie, men klasser der er udtryk for spektralt forskellige overflader.

Supervised klassifikation

I den superviserede klassifikation anvendes forhåndsviden om det pågældende område til at *vejlede* klassifikationsrutinen til at gruppere dataene i relevante klasser. Disse klasser kunne være forskellige vegetationstyper, vand/sne, dyrket/naturlige overflader eller for eksempel overflader med forskellig geologi. Forhåndsviden, som anvendes kan være tidligere vegetationskortlægning, kendskab til overflader fra feltarbejde, spektral signaturer for overflader som findes i området eller kendskab til forskelle i forskellige overfladers refleksion (sne reflekterer f.eks. omkring 1.5Tm, mens skyer absorberer stråling ved denne bølgelængde). Superviserede klassifikationsmetoder kan være baseret på statistiske teorier (f.eks. *maximum likelihood*) men behøver ikke at være det (f.eks. *minimum distance*) (Jensen, 1996).

Usikkerhedsvurdering

Da klassifikationen inddeler overfladetyperne i et endeligt antal klasser, vil der i naturen altid forekomme overgangstyper imellem en klasse og en anden. Ligeledes vil der indenfor en klasse være en del variation, som kan give anledning til forvirring af klassifikationsmetoden og dermed resultere i fejlklassifikation.

Der foretages derfor en usikkerhedsvurdering, som angiver i hvor høj grad klassifikationen antages at ligne virkeligheden. Mange metoder er udviklet og anvendt indenfor usikkerhedsvurdering og Congalton (1991) giver en oversigt af de til da anvendte metoder. Gopal og Woodcock (1994) præsenterer en ny metode baseret på *fuzzy sets*. Denne og nogle af de mere traditionelle metoder vil blive nærmere præsenteret i afsnit C.4.3.

C.2 Datagrundlag

C.2.1 Satellitdata

Primært data fra satellitten, Landsat TM, er anvendt i projektet. Specifikationerne er angivet i Tabel C.1. Satellitterne er amerikanske og har i nedenstående konfiguration været i omløb siden juli 1982 som Landsat 4 TM (juli 1982 – august 1993) og Landsat 5 TM (marts 1984 – stadig operationel august 2000).

Landsat TM specifikationer

Tabel C.1 Tekniske specifikationer for Landsat 4 og -5 Thematic Mapper (<http://geo.arc.nasa.gov/sge/landsat/landsat.html>).

Bånd nr.	Bølgelængde	Spatial opløsning
1	0.45-0.52Tm	30*30m
2	0.52-0.60Tm	30*30m
3	0.63-0.69Tm	30*30m
4	0.76-0.90Tm	30*30m
5	1.55-1.75Tm	30*30m
6	10.40-12.5Tm	120*120m
7	2.08-2.35Tm	30*30m
Swath width		185 km
Temporal opløsning		16 dage
Radiometrisk opløsning		8 bits (256 niveauer)
Bane højde		705 km
Bane inklinations†		98.2° (sol-synkront)

† Bane inklinations angiver inklinations i forhold til ækvator

C.2.1.1 Anvendte billeder

Tabel C.2 er en oversigt over de anvendte Landsat TM billeder. I appendiks H.5 er givet en grundig præsentation af alle anvendte satellit-scener med *quick-looks*, sceneparametre som solhøjde, geografisk dækning, teknisk kvalitet, billedmæssig kvalitet (skydække etc.) samt en oversigt over processeringen af de enkelte billeder.

Tabel C.2 Landsat TM billeder anvendt i kortlægningen. Path og row angiver scene i et sensorspecifikt koordinatsystem fra USGS.

Område	Sensor	Dato	Path	Row
Kangerlussuaq	Landsat 5 TM	22. juni 1995	8	13
	Landsat 5 TM	3. september 1996	9	13
Nuuk	Landsat 5 TM	20. juli 1993	6	15
	Landsat 5 TM	1. juli 1995	7	14
Sydgrønland	Landsat 5 TM	17. juli 1993	1	17
	Landsat 5 TM	17. juli 1993	1	18
	Landsat 5 TM	20. august 1997	2	17

Kombination af billeder

Som det kan ses af Tabel C.2 er billederne indenfor samme område fra forskellige år og dato. For Kangerlussuaq området gælder således at det ene af de to anvendte billeder er fra begyndelsen af vækstsæsonen i slutningen af juni i 1995, hvor klimaet var relativt normalt, hvorimod det andet er fra slutningen af vækstsæsonen i september 1996, hvor forårstemperaturerne var

usædvanligt høje. Den store forskel findes i at billederne dækker hver sin ende af vækstsæsonen og derfor ikke nødvendigvis kan producere et klassifikationsresultat, som kan sammenlignes. Frodige områder i juni, f.eks. kærømråder, kan være helt udtørret i september, ligesom dværgbuskheder, der i starten af sæsonen endnu ikke er blevet rigtig grønne i slutningen af sæsonen vil virke meget frodige i sammenligning med f.eks. de udtørrede kærømråder. Sensommerbilleder og efterårsbilleder indeholder reelt ikke meget information om vegetationen og det er primært fugtbetingede vegetationsforskelle, som kan erkendes på dette tidspunkt af året. Mosbech og Hansen (1994) beskriver samme problem ved kortlægning på Jameson Land i Østgrønland.

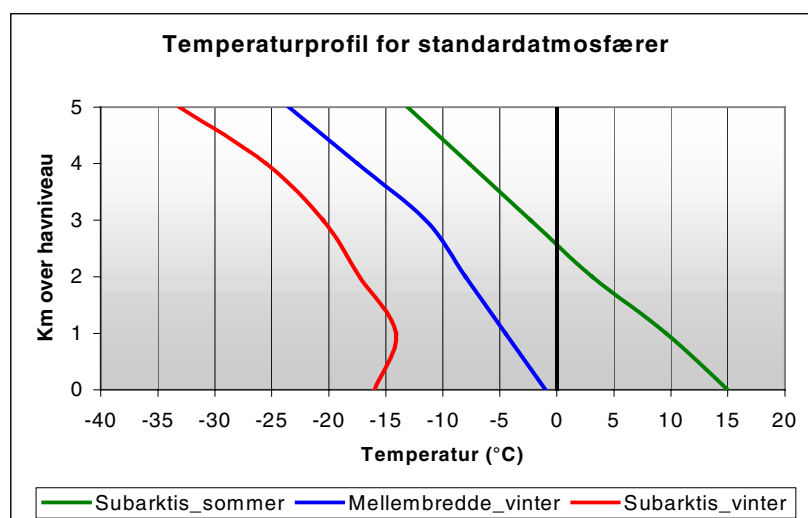
Desværre er antallet af skyfrie billeder på Grønland meget begrænset og de valgte billeder er således de bedste, som er til rådighed. De andre to områder (Nuuk og Sydgrønland) står lidt bedre, idet billederne her er fra midten af vækstsæsonen men dog fra forskellige år.

C.2.2 Atmosfæreprofiler

Da radiosondeprofiler med specifikke atmosfæredata til den atmosfæriske korrektion af satellitbilleder ikke er til rådighed for hovedområderne på vestkysten, anvendes der i stedet standardatmosfærer. Standardatmosfærene er en grov estimering af atmosfæreprofilerne for de pågældende tidspunkter i hovedområderne. På trods af dette giver profilerne dog et overordnet bud på atmosfæreprofilen i den respektive klimazone. Standardatmosfærene er indlagt i det atmosfæriske korrektionsprogram ATCOR 2.6 og dækker blandt andet subarktisk sommer og vinter. Arktiske standardatmosfærer var ikke tilgængelige for korrektionen.

Atmosfæreprofiler

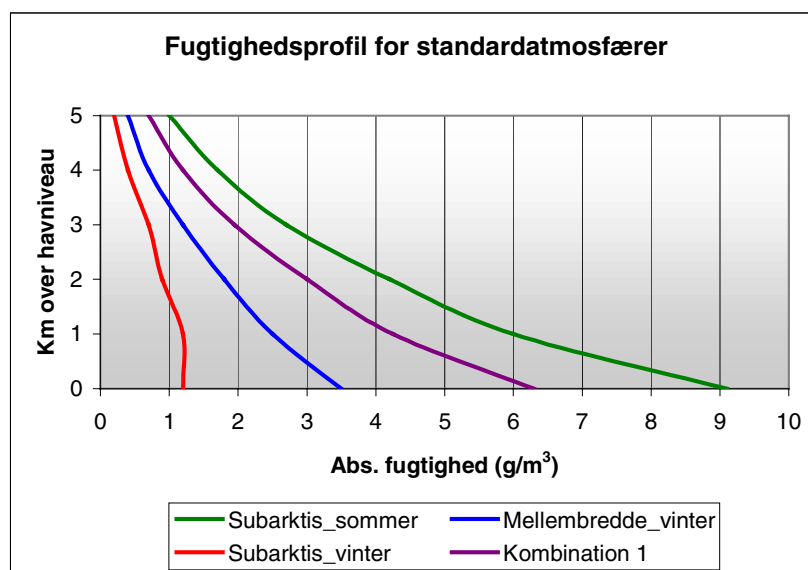
Den atmosfæriske profil består dels af en temperaturprofil til korrektion af temperaturkanalen og dels et højdeprofil af tryk, temperatur og vandindhold samt aerosoltype til korrektion af de synlige og nær-/midt-infrarøde kanaler. Atmosfærene er genereret for de enkelte sensorer for at opnå så hurtig en korrektion som muligt. I nedenstående Figur C.2 er der vist eksempel på temperaturprofiler for 3 standardatmosfærer.



Figur C.2 Temperaturprofiler for 3 standardatmosfærer (Data fra Richter, 1996b).

De tre viste profiler er de mest anvendte for Vestgrønland i dette projekt. For arktiske egne med kolde overfladetemperaturer om vinteren er det typisk at have inversionslag, som det kan ses i den subarktiske vinterkurve i figuren (Gueymard, 1994).

I ATCOR 2.5 er der mulighed for at kombinere standardatmosfærene og derved skabe en standardatmosfære, som ligger tættere op ad atmosfæren for det pågældende område. Her er det dog vigtigt at have kendskab til typiske værdier eller egentlige målinger af data. For dette projekt har det ikke været muligt at skaffe atmosfæreprofiler for de dage hvor satellitdata har været til rådighed. I stedet er temperatur og fugtighedsdata fra overfladestationer anvendt, hvor det var muligt, til estimering af atmosfæreprofil.



Figur C.3 Fugtighedsprofiler for standardatmosfære samt kombination af disse. Kombination 1 er et middel imellem den subarktiske sommer og den mellembreddegrads vinteratmosfære. (Data fra Richter, 1996b).

I Figur C.3 ses eksempel på fugtighedsprofiler for tre forskellige standardatmosfærer. Endvidere er der vist en kombination af profilet for den subarktiske sommer og vinter på mellembreddegraderne. Kun de fem nederste kilometer af atmosfæren er vist idet omkring 95% af vandindholdet, og dermed den største årsag til absorption og spredning, findes indenfor denne del af atmosfæren (Richter, 1996b). Specielt i arktiske egne, hvor atmosfæren er tyndere end på lavere breddegrader, gør dette sig gældende.

Tabel C.3 Aerosoltyper anvendt i ATCOR 2.5 atmosfærekorrektionsprogram (Richter, 1996b).

Overfladetype	Aerosol
Land	Vandopløselige partikler og støv
By	Industrielle partikler og støv fra land
Marint	Fra MODTRAN [†]
Oceanisk	Fra LOWTRAN [†]
Ørken	Støv og landpartikler

[†] MODTRAN og LOWTRAN er de atmosfæriske modeller som ATCOR's korrektionsværdier er beregnet på baggrund af. Se henh. Berk et al (1989) og Isaacs *et al.* (1987).

lingen. De forskellige typer aerosoler, som ATCOR 2.5 tager højde for, er listet nedenfor i Tabel C.3

Betydningen af partiklerne er kort beskrevet i afsnit C.4.1.4. For projektet her er aerosolmodellerne kombineret, idet områderne strækker sig fra et marint miljø til et mere terrestrisk kontinentalt miljø.

C.2.3 Kortdata og digital højdemodel (DEM)

I forbindelse med den geometriske opretning af satellitbilleder er der anvendt digitale kort og terrænmodeller baseret på data fra såvel Compukort (Greenland Tourism Vandrekort), Kort og Matrikelstyrelsen (KMS) samt Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelser (GEUS).

C.2.3.1 Kortdata

Alle kort er baseret på fotogrammetrisk kortlægning af flybilleder fra perioden 1945-1985. Datakvaliteten medfører op til 500 m afvigelser ved anvendelse af de ældste flybilleder, mens de nyere *kun* resulterer i en generel fejl på 50 til 250 m og derfor medfører problemer ved opretningen af satellitbillederne (Weng og Nielsen 1997).

C.2.3.2 Digital højdemodel

På baggrund af højdedata fra KMS og GEUS er der genereret højdemodeller for Sydgrønland og Kangerlussuaqområdet. Højdemodeller kan anvendes til at udligne terrænbestemte forskelle i refleksion og er derfor vigtige i reliefriige områder som Grønland. For Nuukområdet har det ikke været muligt at få pålidelige højdedata, hvorfor der ikke er produceret nogen højdemodel for dette område.

Interpolation af højdemodel

Generering af højdemodellerne er foretaget af på baggrund af højdekurver med 100 meters mellemrum, som er lavet til kortlægning i skalaen 1:250.000. Højdekurverne består af punkter, hvortil der med *kriging* metoden blev tilpasset en overflade. *Kriging* er en interpolationsmetode, som på baggrund af højdekurve-punkterne søger at tilpasse den bedste overflade til data ved dels at fastholde koterne for de eksisterende punkter og dels at følge trends i overfladen (Golden Software, 1999). Der er anvendt lineær variogram ved interpolationen. Nærmere gennemgang af denne metode ligger udenfor afhandlingens omfang men der henvises til Golden Software (1999), som har en grundig beskrivelse og uddybende referenceliste om emnet.

C.3 Feltundersøgelser

Under feltsæsonerne i Vestgrønland i 1996, 1997 og 1997 blev der indsamlet data til anvendelse under processeringen af satellitdata. De nedenfor beskrevne data er indsamlet og processeret af forfatteren. Der er indsamlet spektralsignaturer til analyse af sammenhængen imellem vegetations sammensætningen og refleksionen, samt feltdata til beskrivelse af vegetationstyperne og det omkringliggende terræn.

C.3.1 Spektralmålinger

Spektralmålinger blev foretaget med et Cropscan Multi Spectral Radiometer 16 (MSR16), som måler i 16 forskellige bølgelængdebånd. Formålet med indsamling af spektralsignaturer var dels at styre klassifikationen af områderne og analysere muligheden for spektralt at adskille vegetationstyper samt dels at analysere plantearternes indflydelse på den spektrale reflektion. Når refleksionen af en overflade er kendt kan klassifikationsprocessen sammenligne en ukendt signatur (punkt i billedet med værdier fra 5 kanaler) med den kendte spektralsignatur og dermed tildele pixelen den klasse, som ligger nærmest. Blandt andet fordi feltarbejde og optagelse af satellitbilleder ikke er foretaget på samme tidspunkt er der så stor forskel på disse datasæt at spektralsignaturerne ikke kan anvendes til styring af klassifikationen (afsnit C.5.1 og C.6.1.1). Spektralsignaturerne er derfor primært anvendt til en analyse af plantearternes indflydelse på den spektrale reflektion.

En grundigere gennemgang af klassifikationsproceduren vil blive præsenteret i afsnit C.4.2 og resultaterne af spektralmålingerne er præsenteret i afsnit C.5.1.



Figur C.4 Måling af reflektion med Cropscan Multi Spectral Radiometer 16 over afblæsningsflade ved Itinnera i Nuukområdet (Foto: K.G. Motzfeldt).

De spektrale målinger til anvendelse som træningsspektra for klassifikationsprocessen er foretaget over de botaniske analysefelter. Dermed repræsenterer hvert spektra en tilfældig udvalgt kvadratmeter indenfor en homogen vegetationstype, der er udvalgt subjektiv på baggrund af vegetationstypens botaniske sammensætning.

Ud over spektralsignaturer blev der målt klimaparametre, som er beskrevet nedenfor samt taget digitale fotos af alle målte overflader.

Spektrale bånd i MSR16

MSR16 måler i modsætning til traditionelle spektrometre både den indkommende og udgående stråling. Dermed kan refleksionen beregnes direkte og løbende referencemålinger undgås. De målte kanaler dækker over bølglængdebåndene som vist i Tabel C.4.

Tabel C.4 Spektralbånd for Cropscan Multi Spectral Radiometer 16 (MSR16). De bånd som tilsvare de 5 første Landsat TM bånd er angivet med båndnavn (TM1-TM5).

Båndnavn	Median bølglængde (Tm)	Nedre bølglængde (Tm)	Øvre bølglængde (Tm)
w405	0.405	0.400	0.410
w467	0.467	0.462	0.472
w485 (TM1)	0.485	0.450	0.520
w550	0.550	0.545	0.555
w560 (TM2)	0.560	0.520	0.600
w660 (TM3)	0.660	0.630	0.690
w680	0.680	0.674	0.686
w700	0.700	0.694	0.706
w720	0.720	0.714	0.726
w740	0.740	0.733	0.747
w760	0.760	0.755	0.765
w800	0.800	0.794	0.806
w830 (TM4)	0.830	0.760	0.900
w855	0.855	0.835	0.875
w1240	1.240	1.234	1.251
w1650 (TM5)	1.650	1.550	1.750

Kalibrering

For alle bånd findes der altså både en sensor, der vender op og en som vender ned. Under feltarbejdet kalibreres sensorerne løbende med en kalibrering dagligt. Refleksionen fra en given overflade afhænger blandt andet af lysforhold, solhøjde og atmosfæreforhold (Iqbal, 1983). Det er derfor nødvendigt at recalibrere instrumentet løbende for at opnå spektralsignaturer, som kan sammenlignes imellem områder .

Ved feltarbejdet i Sydgrønland blev de to anvendte MSR16 kalibreret samtidig og sammenlignet mod de samme overfladetyper (f.eks. *Salix glauca*, *Betula pubescens*, asfalt og lignende). Kalibreringen viste en god overensstemmelse i de målte spektralsignaturer, hvorfor spektralsignaturer indsamlet med de to spektrometre ikke er opdelt, men anvendt sammen.

I Figur H.3 side H-7 blev der vist eksempler på spektralsignaturer for naturligt forekommende materialer. Disse spektra var indsamlet med en høj opløsning og bredere dækning. Spektra indsamlet med MSR16 er specificeret til relativt få bånd, som kan relateres direkte til de satellitbaserede refleksionsdata, og har derfor en lavere opløsning end de i Figur H.3 viste. Eksempler på de indsamlede spektralsignaturer er vist i afsnit C.4.2.4 og C.4.2.5.

Klimaparametre

Samtidig med måling af refleksion af solstråling blev der målt forskellige klimaparametre samt taget et foto (Figur C.5). Parametrene er listet i Tabel C.5 nedenfor:

Tabel C.5 Klimaparametre målt sammen med refleksionsmålinger fra MSR16.

	Parameter
Klima	Overfladetemperatur (°C)
	Lufttemperatur (°C)
	Relativ fugtighed (%)
	Kortbølget indstråling (0.3-1.1 μ m)
	Vindhastighed (m/s)
Foto	Farvebillede af analysefelt

Klimaparametrene er anvendt dels til sammenligning med data fra den termale kanal af Landsat TM sensoren og dels til sammenligning for verificering af eventuelle klimapåvirkninger af spektralmålingerne. Den kortbølgede indstråling anvendes til bestemmelse af den nedre indstrålingsgrænse for anvendelsen af spektroradiometret. Ved indstråling under 200 W/m² bliver usikkerheden i refleksionsbestemmelsen for stor og data er ikke anvendt. Lufttemperaturen indgår i kalibreringen af sensorerne, som er temperaturafhængige. Luftfugtighed anvendes i tilfældet af at der bliver satellitdata til rådighed fra pågældende dag, og kan i det tilfælde anvendes i den atmosfæriske korrektion. Vindhastigheden er mest påkrævet ved højere vegetationstyper, hvor vinden kan få vegetationen til at svaje og dermed ændre refleksionsmønster under scanningen.

Fotoet blev taget, som et lodfoto, primært til verifikation af vegetationstypen.



Figur C.5 Cropscan Multispectral Scanner 16 i vandtæt hus. Det hvide glas indenfor metalrammen er en diffusor, som spreder den indkommende stråling for de opadvendte sensorer. På siden af huset kan ses en sensor for total indkommende kortbølget stråling samt en sensor for overfladetemperatur. Bag huset skimtes vindhastighedsmåleren (Foto: M.P. Tamstorf).

C.3.2 Overfladetyper

Under feltarbejdet af indsamling af spektralsignaturer for de relevante overfladetyper foregik samtidig en detaljeret vegetationsundersøgelse af de tilsvarende vegetationsoverflader. Analyserne er foretaget dels for at kunne

beskrive de kortlagte vegetationstyper i RenVeg-projektet og dels for at muliggøre en opfølgende undersøgelse.

De vegetationsdækkede overflader er først præsenteret med kort beskrivelse og billedeksempler, hvorefter der følger en meget kort beskrivelse af de vegetationsløse overflader.

C.3.2.1 Vegetationsdækkede overflader

Vegetationsanalyser

Undersøgelserne følger ITEX konceptet (International Tundra Experiment, Molau og Mølgaard 1996) med en modificeret *pin-point* analyse. Dette gør det muligt at gentage de samme analyser efter et antal år og dermed observere eventuelle ændringer i vegetationsdækket (Walker, 1995). Under rekognosceringsture indenfor hver lokalitet blev antallet af vegetationstyper fastlagt, og et antal homogene områder udvalgt, så alle typer var repræsenteret i minimum et område. Vegetationstyper som kunne ses på satellitbillederne blev udvalgt. Typer med en lille udstrækning (f.eks. urteli) blev altså ikke analyseret eller kortlagt. I hvert område blev der derefter permanent placeret 4 analysefelter og disse blev undersøgt med ovennævnte ITEX metode. I alt er der udlagt 292 analysefelter fordelt på 73 områder i Vestgrønland, som tilsammen beskriver 8 vegetationstyper og nogle enkelte overgangstyper. De 8 vegetationstyper er listet i Tabel C.6.

Tabel C.6 Antal vegetationsanalyser (ITEX-metoden) som er udlagt i de tre hovedområder.

Vegetationstype	Antal analysefelter [†]			Totalt
	Kangerlussuaq	Nuuk	Sydgrønland	
Krat	16	12	24	52
Kær	16	12	12	40
Græsland	12	0	24	36
Sneleje	4	0	0	4
Lavholdig dværgbuskhede	0	20	0	20
Dværgbuskhede	28	56	20	104
Steppe	8	8	0	16
Afblæsningsflade / Fjeldmark	4	8	0	12

[†] De to overgangstyper er udeladt og derfor summerer det totale antal kun op til 284.

I RenVeg projektet (Lund, in prep.) er vegetationsundersøgelserne beskrevet i detaljer og opdelingen af vegetationstyper er foretaget på en floristisk baggrund.

Definition af vegetationstyper for kortlægning

I kortlægningsfasen er typerne svagt omdefinert med udgangspunkt i den egentlige vegetationsklassificering, så de inddeles dels udfra de botaniske undersøgelser og dels udfra hvad der var muligt at kortlægge på baggrund af satellitbillederne. Dermed adskiller de kortlagte typer sig en smule fra de botanisk bestemte vegetationstyper, som er beskrevet i sektionen med vegetationsanalyserne. I appendiks H.6 er de sammensætningen af de botaniske analyser indenfor hver vegetationstype listet og foto fra hver af vegetationstyperne vist.

C.3.3 Positionsdata

GPS

Ved alle målinger af spektralsignaturer og vegetationsanalyser blev den geografiske position bestemt med håndholdt GPS (*Ground Positioning System*) af typen Garmin 12XL.

Usikkerhed

Usikkerheden på disse målinger ligger fra 20 m til 100 m betinget af antallet af satellitter, som GPS'en modtager signal fra, kvaliteten af modtageren samt det støjsignal (S/A-kode), som var pålagt signalet af USA. S/A-koden var opgivet til i 95% af tiden at give fejl i positionsbestemmelse under 100m. Usikkerheden af de feltmålte positioner blev dog yderligere nedsat idet den anvendte GPS var istand til at foretage et gennemsnit af bestemte positioner i et tidsinterval. Under måling af spektralsignaturer og vegetationsanalyser blev GPS'en placeret stationært og sat til at foretage midling af positionerne. Da S/A-koden er en tilfældig støj vil midling over tid give et estimat på positionen som er tæt på den korrekte. Under analyserne blev der typisk målt i cirka 30 minutter og usikkerheden svandt herved til omkring 30 m afhængig af antallet af GPS-satellitter.

C.4 Metode

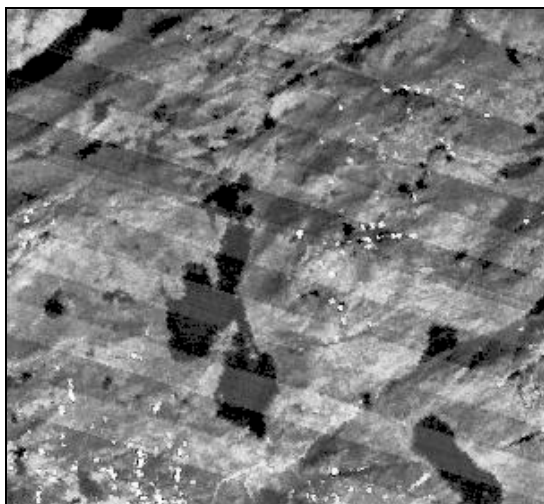
I det følgende afsnit vil metoderne som er anvendt i forbindelse med processing af satellitdata blive beskrevet. Dette inkluderer dels metoder for indsamling af feltdataene og dels præprocessing, klassifikation og usikkerhedsvurdering af satellitdata.

C.4.1 Præprocessing

Inden klassifikation og analyser af satellitbillederne foretages en præprocessing af disse. I det følgende afsnit vil de enkelte trin i præprocessingen blive nærmere beskrevet med eksempler fra de anvendte data.

C.4.1.1 Destribning

Landsat 5 TM billeder har siden opsendelsen i 1984 været præget i større eller mindre grad af systematisk stribning. Stribningen er et resultat af, at de to sæt skannere på Landsat 5 TM satellitten ikke ældes ens og derfor måler forskelligt i bånd af 16 rækker. Jo ældre satellitten bliver, desto værre vil stribningen blive. I Figur C.6 er der vist et eksempel fra Sydgrønland, hvor stribningen er meget tydelig og har betydning for såvel det visuelle indtryk, som for kvantitative analyser.



Figur C.6 Systematisk stribning i Landsat 5 TM kanal 2 fra Vatnahverfi i Sydgrønland.

Flere andre sensorer har haft systematisk stribning (f.eks. Landsat MSS) og der er derfor udviklet flere metoder til destribning af satellitbilleder (Mather 1987, Crippen 1989, Helder *et al.*, 1992). Disse er dog mest baseret på basale statistiske filtre og er reelt ikke nok til helt at eliminere stribningen.

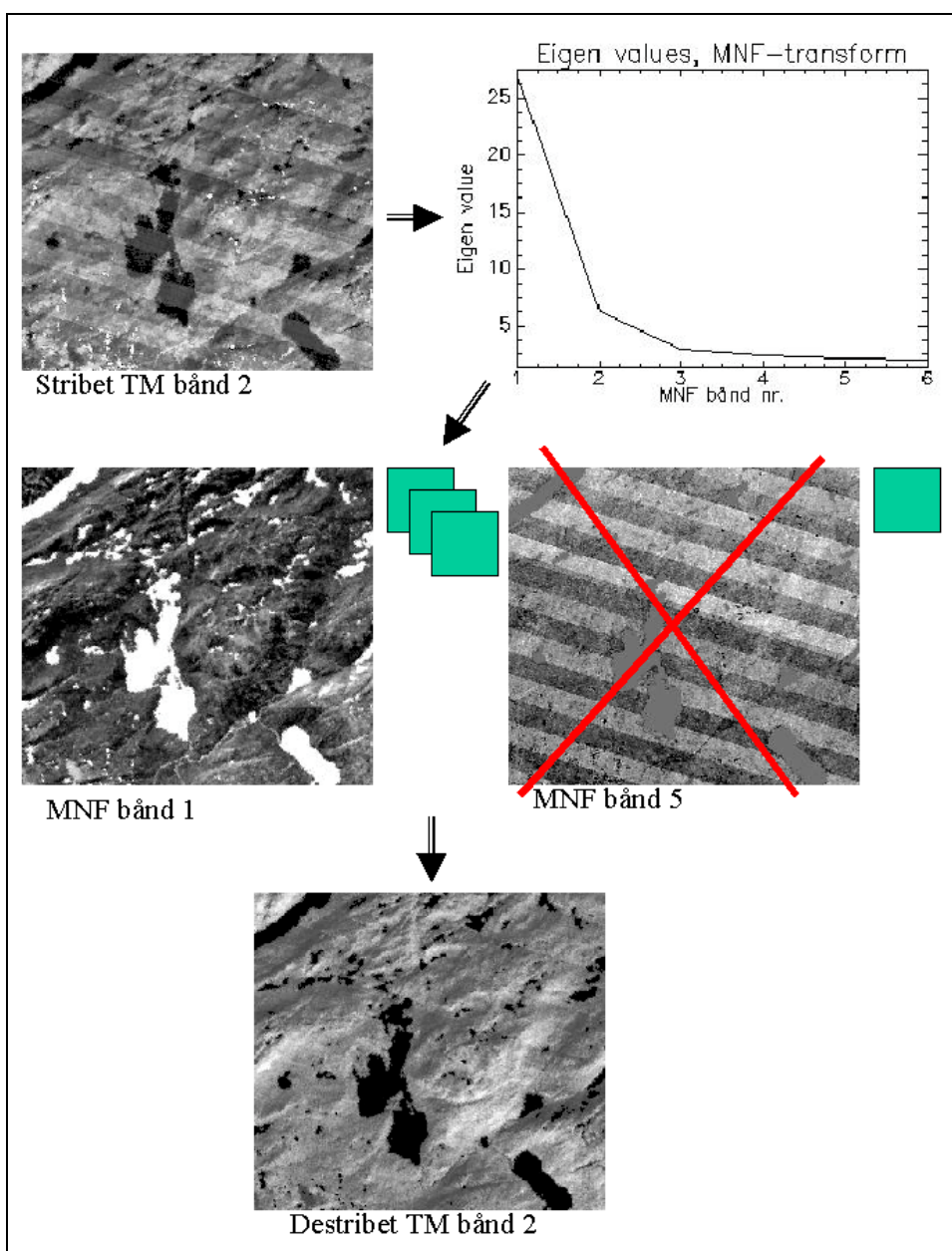
I denne undersøgelse er anvendt to mere komplicerede metoder til at minimere stribningen i billedet, samtidig med at så stor en del af den oprindelige information i billedet bliver bevaret. Metoderne er implementeret i softwarepakken ENVI, som er anvendt til destribningen. De to metoder er:

- Fast Fourier Transform (FFT)
- Minimum Noise Fraction (MNF).

FFT er en teknik, som anvendes til at splitte et billede op i dets forskellige rumlige frekvensdomæner. Metoden er blandt andet beskrevet i Jensen (1996). I praksis kan FFT forklares som en konvertering til et frekvensdomæne, hvor alle systematiske fejl eller naturligt forekommende fænomener med systematisk repræsentation i rummet vil blive synlige som punkter med højere værdier end det omkringliggende i frekvensdomænet. Ved at filtrere de punkter fra, så frekvensdomænet fremstår ensformigt vil man således kunne fjerne den systematiske stribning. Et væsentlig problem med FFT er dog, at beregningen er relativ langsommelig og at FFT resultaterne fylder meget. Det kan derfor være meget tidskrævende og besværligt at destribe en fuldscene ved hjælp af FFT, og MNF kan med fordel anvendes istedet.

Minimum noise Fraction

MNF blev præsenteret af Green *et al.* (1988) og er udviklet med formålet at samle støj fra billeder i enkelte kanaler, mens den reelle information bevares i andre bånd. På Figur C.7 er processen for destruktion med MNF vist.



Figur C.7 Minimum noise Fraction (MNF) af stribet Landsat 5 TM med eksempel fra bånd 2. MNF bånd med udpræget stribning og lav eigenværdi sorteres fra. Der foretages en invers MNF, som resulterer i et billede med væsentligt lavere grad af stribning (eksempel bånd 2).

Eigenverdierne i øverste højre hjørne af Figur C.7 angiver, hvor meget datainformation det pågældende bånd indeholder. Værdier omkring 1 indeholder stort set kun støj og kan derfor sorteres fra. De første 3 bånd ned til det markante knæk på kurven er derfor de MNF-bånd, som er anvendt ved den inverse MNF transformation.

De to metoder kan også kombineres. Hvis der først beregnes en MNF-transform hvor stribningen af billedet ligger i et eller to bånd kan disse MNF-bånd beskrives med FFT. Efter beskrivelse af MNF foretages en invers MNF hvorefter de beskrevne kanaler er klar til videre anvendelse. Metoden er præsenteret i Broge *et al.* (1997) og anvendt på et af Landsat TM billeder i denne afhandling (1. juli 1995 fra Nuukområdet). Metoden er effektiv men meget tidskrævende hvorfor det blev valgt at anvende MNF. FFT er dog anvendt hvis MNF ikke var tilstrækkelig effektiv.

MNF alene på vegetationsoverflader

I flere af billederne, hvor metoden blev anvendt, kunne beskrivningen ikke køres på hele billedet. Informationen om stribningen blev ikke isoleret i enkelte MNF-bånd med minimalt signal, men var spredt over flere af de betydende bånd. Ved at opdele billedet i de vegetationsdækkede og de vegetationsløse områder og kun køre proceduren på de vegetationsdækkede overflader, var det tydeligt at stribningen over de vegetationsdækkede områder kunne isoleres i 2 MNF bånd. MNF bånd 4 og 5 indeholdt næsten al den systematiske stribning. Stribningen af de vegetationsløse områder har ingen relevans i dette studie, da disse overfladetyper er så spektralt forskellige fra vegetation og derfor ikke har tendens til fejklassifikation i samme grad, som de vegetationsdækkede overflader.

C.4.1.2 Kalibrering og atmosfærisk korrektion

Som beskrevet i afsnit C.1.1.1 er det nødvendigt at kalibrere og atmosfærisk korrigerede satellitbillederne, hvis de skal sammenholdes med feltmålinger af refleksion. Denne proces foretages reelt som to separate beregninger, men foretages normalt i én proces, der kører under programmet ATCOR 2.6. Nærmere beskrivelse af programmet og generel information om atmosfærisk korrektion kan fås i Richter (1990, 1996a, 1996b og 1997). I de følgende afsnit er kalibrering og atmosfærisk korrektion for overskuelighedens skyld beskrevet i separate afsnit.

C.4.1.3 Kalibrering

Kalibrering af satellitbillederne foretages for at omdanne det digitale signal med værdier på en skala fra 0 til 255 (8 bit) til overfladerefleksion (Markham og Barker, 1985). I det følgende gives en oversigt over konverteringen af de rå dataværdier (DN~digital numbers) til refleksion (ρ) og indeholder to trin af beregninger:

- Beregning af spektral radian (L_λ) fra DN
- Beregning af refleksion ved satellitten (*effective at-satellite planetary reflection*) fra L_λ

Beregning af spektral radian (L_λ) fra DN

Den spektrale radian (L_λ) er beregnet fra DN som følger (Markham og Barker, 1986):

$$L_\lambda = L_{\min_\lambda} + \left[\frac{(L_{\max_\lambda} - L_{\min_\lambda})}{DN_{\max}} \right] * DN \quad (\mathbf{F\ 3})$$

hvor

L_λ : spektral radian i billedet ($\text{W m}^{-2} \text{sr}^{-1} \text{m}^{-1}$)

- DN_{\max} : maksimal DN værdi for et bånd (255 for alle TM bånd)
 $L_{\min\lambda}$: spektral radians ved $DN = 0$
 $L_{\max\lambda}$: spektral radians ved $DN = DN_{\max}$

I de fleste *in-flight* kalibreringer nævnt ovenfor er følgende udtryk anvendt for sammenhængen imellem spektral radians og DN:

$$L_{\lambda} = \text{Offset} + (\text{Gain} * DN) \quad (\text{F } 4)$$

hvor:

Offset: $L_{\min\lambda}$ ($\text{W m}^{-2} \text{sr}^{-1} \text{Km}^{-1}$)

Gain: $(L_{\max\lambda} - L_{\min\lambda})/255$ ($\text{W m}^{-2} \text{sr}^{-1} \text{Km}^{-1} \text{DN}^{-1}$)

I Tabel C.7 er vist publicerede *pre-* og *in-flight* kalibreringsværdier, *gain* og *offset*, for de 6 reflektive bånd af Landsat 5 TM.

Tabel C.7 *Gain* (C_1) og *offset* (C_0) værdier for *pre-* og *in-flight* kalibreringer af Landsat 5 TM.

		TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM7
Preflight (Richter, 1999)	C_1	0.636	1.262	0.97	0.914	0.126	0.067
	C_0	-1.009	-1.919	-1.682	-1.819	-0.398	-0.203
Markham & Barker (1986)	C_1	0.602	1.174	0.806	0.816	0.108	0.057
	C_0	-1.5	-2.8	-1.2	-1.5	-0.37	-0.15
Slater (1986)	C_1	0.727	1.385	1.102	0.885	0.126	0.067
	C_0	-1.331	-2.346	-1.897	-1.942	-0.398	-0.203
Arino (1995)	C_1	0.731	1.353	0.971	1.069	0.143	0.076
	C_0	-1.5	-3.1	-2.7	-2.5	-0.45	-0.3
Olsson (1995)	C_1	0.602	1.174	0.806	0.816	0.108	0.057
	C_0	11.44	7.50	3.99	3.82	-0.38	-0.15

Værdierne er baseret på studier af overflader med kendt refleksion, såsom ørkener, sne osv. Efter feltnmålinger af refleksionen, samtidig med en overflyvning af satellitten, kan disse overflader genfindes på satellitbilledet og nye kalibreringsværdier beregnes på baggrund af de kendte overflademålinger og de ikke-kalibrerede satellitdata. Da disse overflader forudsættes at have ingen eller kun meget lille variation i refleksionen over tid er det tit de samme overflader som anvendes.

Kun *pre-flight* værdierne i Tabel C.7 er ikke bestemt på denne måde, men ved laboratoriemålinger af instrumentet før opsendelsen.

Ved valg af værdier er det vigtigt at tage hensyn til baggrunden for kalibreringen, idet en kalibrering efter overflader med lav refleksion ikke nødvendigvis kan anvendes på overflader med høj refleksion. Netop arktiske egne har grundet snedække med høj refleksion og søer med lav refleksion et meget stort spring i refleksion, som sætter store krav til kalibreringen. Flere af TM båndene, specielt TM1 og TM2, er endvidere tit overmættet når der måles over sne. Landsat 5 TM var oprindeligt planlagt som en sensor til anvendelse for monitorering af vegetation, og sensorerne er derfor lavet for at give så høj opløsning ved monitorering af relativt lave refleksionsværdier fra for eksempel vegetation (Jensen, 1996). Ved måling over sne og skyer vil refleksionen blive større end sensoren er dimensioneret til med overmætning som resultatet.

$$\rho = \frac{\pi * d^2 * L_\lambda}{E_{sun\lambda} * \cos(z)} \quad (\text{F } 5)$$

hvor:

d^2 : (Afstanden mellem Jorden og Solen)² = $1/(1+0.033*\cos(2*\pi*D_p/365))$ (Iqbal, 1983).

$E_{sun\lambda}$: Ydre atmosfærisk solar spektral irradians ($\text{W m}^{-2} \text{ Tm}^{-1}$)

z : solar zenith vinkel (i grader)

I Tabel C.8 vises værdierne for $E_{sun\lambda}$ for Landsat 5 TM:

Tabel C.8 Ydre atmosfærisk solar spektral irradians, $E_{sun\lambda}$, ($\text{W m}^{-2} \text{ Tm}^{-1}$) (Markham og Barker, 1986).

TM band	Bølgelængdebredde (Tm)		$E_{sun\lambda}$ ($\text{W m}^{-2} \text{ Tm}^{-1}$)
TM1	0.45	0.52	1957.00
TM2	0.53	0.61	1829.00
TM3	0.62	0.69	1557.00
TM4	0.78	0.90	1047.00
TM5	1.57	1.78	219.30
TM7	2.10	2.35	74.52

C.4.1.4 Atmosfærisk korrektion

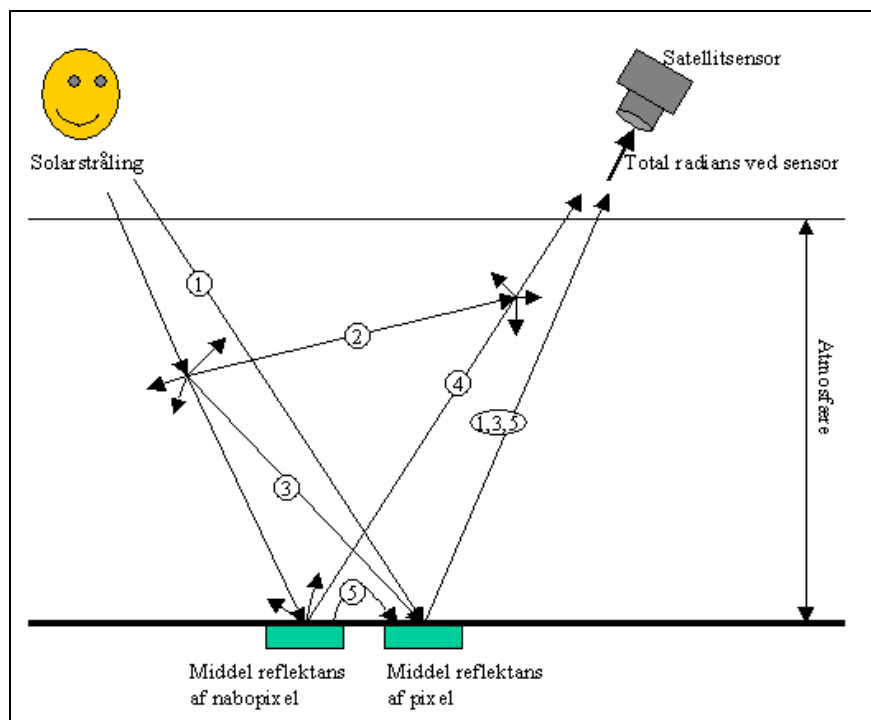
I afsnit H.2.1 og Figur H.2 blev det beskrevet at indstrålingen ved jordoverfladen ikke er den samme som ved atmosfærens yderkant. For satellitbaserede målinger giver det forskel mellem det signal som satellitten modtager, og det som reelt er kendetegnende for en given overflade. Gennem de sidste 30 år er mange modeller til korrektion for atmosfæreinducerede fejl præsenteret. Atmosfærekorrektionsmodellerne rækker fra de relativt simple, som kun kræver få eller ingen input af atmosfæreparametre (Caselles og García 1989, Chavez 1988 og 1989, Gonima 1993, Pons og Solé-Sugrañes 1994, Putzay 1992) til omfattende atmosfæremodeller, som kræver input af mange atmosfæreparametre (Tanre *et al.* 1979, Vermote *et al.* 1997).

Atmosfærens indhold af gasser, støv og andre partikler absorberer, spreder og reflekterer den indkommende og reflekterede solstråling. Satellitbillederne, som bliver modtaget, er derfor ikke kun et billede af reflekteret sollys, men også af det som er reflekteret i atmosfæren.

Figur C.8 viser mulige sammensætninger af solstråling for en pixel under strålingens vej fra solen, gennem atmosfæren, refleksion fra overflade og gennem atmosfære op til satellitsensoren.

Solstråling, som er relateret direkte til den pågældende pixel, kommer via **1** til pixelen og reflekteres op til sensoren. Derudover tilføjes undervejs diffus stråling fra spredning af solstråling, **3**, som oprindeligt skulle have ramt nabopixelen samt refleksion af stråling fra nabopixelen, dels direkte til pixelen, **5**, og dels som *path radiance*, **4**. *Path radiance* består udover den fra nabopixelen reflekterede stråling, også af diffus stråling fra atmosfæren, som er spredt og reflekteret, **2**, ind i pågældende *path*. Det samlede resultat som måles ved sensoren, er altså ikke bare et udtryk for reflekteret sollys, men en

kombination af direkte og diffus stråling, som er reflekteret dels fra den pågældende pixel og dels fra nabopixelerne (Jensen, 1996).

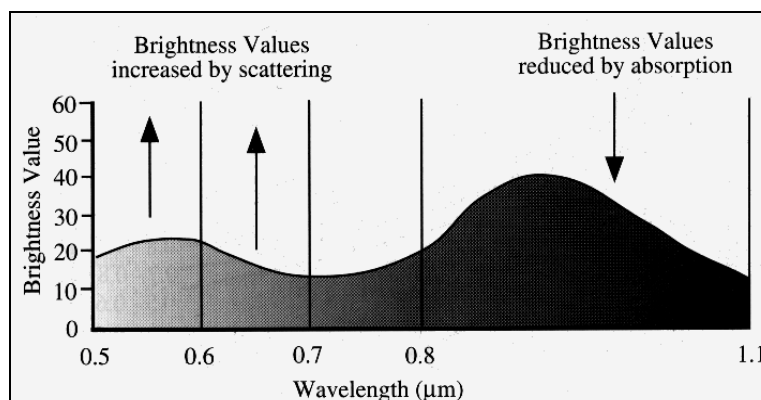


Figur C.8 Sammensætning og vej for satellitmålt refleksion af solstråling. Figuren er forklaret i teksten. (Modificeret efter Jensen, 1996).

Spredning og absorption

Det atmosfæriske korrektionssoftware, ATCOR 2.6 (Richter, 1997) som er anvendt i dette studie, tager under korrektion for atmosfærens indflydelse hensyn til effekterne af atmosfærisk spredning, dels *Rayleigh scattering*, som er betinget af molekylær spredning og dels *Mie scattering*, som er betinget af aerosol spredning. *Rayleigh scattering* er invers proportional til bølgelængden i fjerde ($1/\lambda^4$) og er derfor i praksis 0 ved bølgelængder over cirka 1 Tm (Iqbal, 1983). *Mie scattering* forekommer når diameteren på partiklen i atmosfæren er lig med bølgelængden ($d \approx \lambda$), og er dermed primært en funktion af atmosfærens indhold af vanddamp, støv og andre aerosoler (Iqbal, 1983).

Atmosfærisk absorption sker i molekyler og aerosoler, men er mest betinget af vanddamp (H_2O), kuldioxid (CO_2) og ozon (O_3). I nogle dele af spektret er absorptionen meget kraftig og i Figur H.1 på side H-5 kan det ses, hvordan kanalerne for satellitsensorerne er placeret i såkaldte atmosfæriske vinduer, hvor absorptionen er relativt lille.

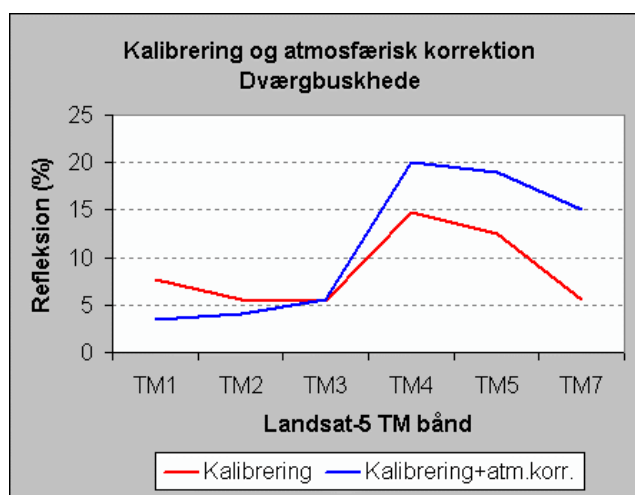


Figur C.9 Kombineret effekt af atmosfærisk spredning og absorption på intensiteten af signalet fra en terrestrisk overflade. Pilene antyder, hvordan henholdsvis spredning og absorption kan forøge og dæmpe stråling i atmosfæren. Eksempel for Landsat MSS (Jensen, 1996).

Fordelingen af spredning og absorption medfører, at der for terrestriske overflader sker en forøgelse af signalet i de lave bølgelængder og en dæmpning af signalet ved højere bølgelængder (se Figur C.9).

Specielt ved de højere bølgelængder spiller vandindholdet en stor rolle. Her er vandindholdet i atmosfæren højt og korrektionen af båndene i disse bølgelængder er derfor større (Jvf. Figur H.1 på side H-5).

Figur C.10 viser et eksempel på refleksion i Landsat 5 TM båndene for en dværgbuskhede ved kalibrering og ved kalibrering samt atmosfærisk korrektion.



Figur C.10 Eksempel på effekten af atmosfærisk korrektion. Kalibrering er foretaget med Slater et al. (1986) og atmosfærisk korrektion med subarktisk sommer profil, terrestrisk aerosol model og visibility på 40km.

Det er tydeligt at effekten af atmosfærekorrektion stiger i de nær- og midtfrarøde bånd (TM4, 5 og 7). Effekten af atmosfærekorrektion har også indflydelse på størrelsen af det karakteristiske spring i refleksionen for vegetation mellem TM3 og TM4. Flere har undersøgt effekten for vegetationsindeks, som netop anvender forholdet imellem TM3 og TM4 til estimering af grønningen af vegetationsoverfladen (Guyot og Gu 1994, Myneni og Asrar 1994), og fundet at der introduceres fejl i analyser af vegetationsindeks fra flere billeder, hvis der ikke foretages atmosfærisk korrektion.

I atmosfærisk korrektion i ATCOR 2.6 tages der endvidere hensyn til *path radiance* fra nabopixels i en given radius omkring pixelen. Jo større kontrast der er mellem nabopixels, desto større vil effekten af *path radiance* være i satellitbilledet. Radius for *path radiance* korrektionen bestemmes af brugeren, men anbefales til omkring 1 km, hvorfor filteret ved Landsat TM skal sættes til omkring 35 pixels (Richter, 1996b).

Standardatmosfærer og vandindhold

Idet mange af de satellitoptagelser, som anvendes til kortlægning, er fra svært tilgængelige områder er det i mange tilfælde ikke muligt at få aktuelle værdier for de atmosfæriske værdier ved korrektionen. Blandt andet derfor er der generet standardatmosfærer for varierende klimaer, så disse kan anvendes

des istedet for feltmålinger. I ATCOR 2.6 er de inkluderede standardatmosfærer genereret fra atmosfæremodellerne MODTRAN-2 (Berk *et al.*, 1989) og SENSAT-5 (Richter, 1994). Ved anvendelse af ATCOR 2.6 vælges en standardatmosfære og en *visibility* (sigtbarhed), som tilsvarende det område der arbejdes i. Der er anvendt dels en subarktisk sommer og en subarktisk vinter afhængigt af billede og tidspunkt for overflyvningen. I Tabel C.9 er givet et eksempel på højdeprofil af subarktisk sommer-standardatmosfære. Et specifikt arktisk atmosfæreprofil findes ikke i ATCOR 2.6. Forskellen mellem et arktisk sommerprofil og et mellembreddegrads vinterprofil er da heller ikke store og korrektion kan derfor foretages med dette istedet (Gueymard, 1994).

Hvis standardatmosfærene ikke passer til det aktuelle klima, kan de kombineres til at estimere andre atmosfærer og radiosondemålinger kan indbygges for at give den aktuelle atmosfære.

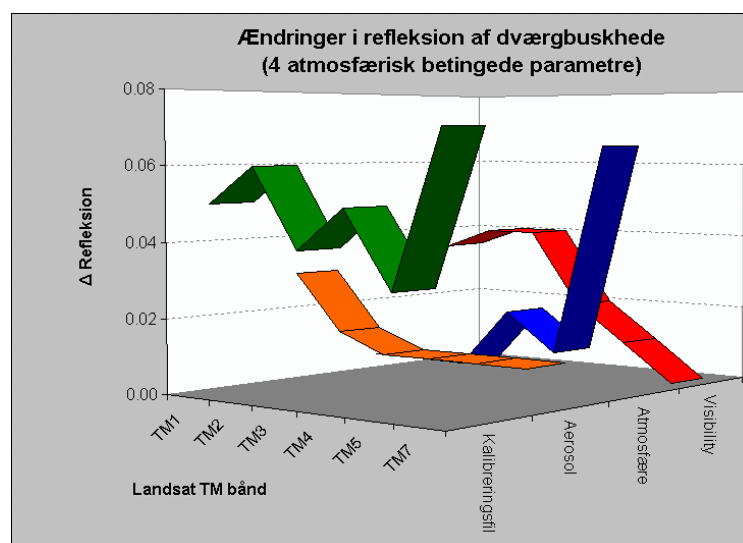
Tabel C.9 Profil af subarktisk sommer standardatmosfære (Richter, 1996b).

Højde (km)	Tryk (mbar)	Temperatur (°C)	Rel. fugtighed (%)	Abs. fugtighed (g/m ³) [†]
0	1010	15.0	75	9.1
1	896	9.6	70	6.0
2	792	3.1	70	4.2
3	700	-2.3	65	2.7
4	616	-7.7	60	1.7
5	541	-13.1	53	1.0

[†] Total atmosfære vanddampsindhold = 1.7 g/m²

Atmosfærepræmetres indflydelse på refleksionen

I ATCOR er der indbygget et spektramodul, hvor man kan ændre på de forskellige parametre (kalibrering, atmosfære, sigtbarhed etc.) og se spektralsignaturen for en udvalgt pixel samtidig. Spektralsignaturen kan så sammenlignes med standardværdier eller feltmålinger af disse. Ved anvendelsen af spektramodul er der foretaget en analyse af hvor meget de enkelte atmosfærepræmetre influerer på Landsat 5 TM for forskellige overflader. Landsat 5 TM fra 1. juli 1995 over Nuuk er anvendt til denne test, hvor kalibreringsfiler, standardatmosfærer (primært vandindhold), aerosolmodeller samt *visibility* er varieret individuelt. Analysen viser, at den atmosfærepræmetre, som har størst indflydelse på refleksion af vegetationsoverflader er graden af *visibility* (Figur C.11).



Figur C.11 Ændringer i refleksionen for dværgbuskhede ved test af de individuelle parametres indflydelse. For hvert bånd er den største forskel valgt.

For eksempel er forskellen på 0.05 i refleksion i TM1 ved kalibreringsfilerne et resultat af forskellen mellem Moran et al (1995) og Olsson (1995).

I de midtinfarvede bånd er det dog atmosfæremodellen, som primært er betinget af vandindholdet, der giver størst ændringer (se ovenfor). Valget af kalibreringsværdier har dog den største individuelle indflydelse på resultatet af korrektionen foretaget i ATCOR 2.6.

Test af atmosfærekorrektion

Grundet den store forskel, som for eksempel valg af kalibreringsfiler kan påføre data, var det nødvendigt at foretage en test af valget af atmosfære og sigtbarhed. Ved hjælp af spektramodulet blev kendte overfladers spektralsignatur sammenlignet med typiske refleksionsværdier for at opnå en korrektion, som passer til det enkelte billede. Tabel C.10 angiver standardrefleksioner for typisk forekommende overflader i de synlige og nærinfrarøde spektre, som blev anvendt til testen af korrektionen.

Tabel C.10 Typiske refleksionsværdier for naturligt forekommende overflader (Richter, 1996b), John Hopkins University Spectral Library, ENVI 3.1).

Overflade	Blåt spektra	Grønt spektra	Rødt spektra	Nærinfrarødt spektra
Mørk sø i skygge	1-3	2-4	0-2	0-1
Vand	3-5	4-6	2-3	0-1
Tyk grøn vegetation	1.5-2.5	2-5	1.5-3	16-25
Grøn vegetation	4-6	6-12	4-8	35-50
Frisk sne	90-98	95-99	90-98	80-95

C.4.1.5 Geometrisk opretning

Geometrisk opretning foretages for at kunne anvende billedet i en geografisk sammenhæng. Når billederne nedtages fra satellitten er flere forskellige geometriske fejl inkluderet i de uoprettede data. Disse fejl kan være forårsaget af for eksempel skævhed i scanningen samt ændringer i satellittens hastighed og højde og jordens rotation (Jensen, 1996). Da en typisk overflyvning af Landsat TM over en fuldscene kun tager cirka 2 minutter er fejl i hastighed, højde og jordrotation dog ikke store. Vegetationskortene skal kombineres af flere satellitbilleder, og disse skal igen kombineres med feltmålinger for til sidst at kunne anvendes i felten. Det er derfor nødvendigt at foretage den geometriske korrektion. Samtidig med at den geometriske opretning foretages, kan den rumlige opløsning ændres for derved at opnå samme pixelstørrelse som andre digitale lag der anvendes i analysen (for eksempel en digital terrænmodel).

Opretningen foretages på baggrund af kendte koordinater fra enten kortmateriale eller GPS målinger fra feltarbejde (Ground Control Points ~ GCP). I dette studie er anvendt kystliniedata og digitale terrænmodeller, som er beskrevet i afsnit C.2.3., og som er behæftet med en vis usikkerhed. Usikkerheden af disse kort er tit væsentligt større end fejl relateret til selve skanningen, specielt i Grønland (se afsnit C.2.3.1).

Alle billederne er efter eventuel destrubning og atmosfærisk korrektion oprettet til *Universal Transverse Mercator* (UTM) projektionen med WGS84 verdensdatum. Billederne i Kangerlussuaqområdet og Nuukområdet er oprettet til zone 22. Billederne fra Sydgrønland ligger en del østligere og er oprettet til zone 23. Alle billeder er oprettet til en spatial opløsning på 25*25 m. og hjørnekoordinaterne for områderne kan ses i Tabel B.1 på side 13.

Ground Control Points (GCPs)

Den geometriske opretning er foretaget ved brug af GCP's, som er punkter i billedet, hvor koordinaterne for det pågældende koordinatsystem kendes.

Ved at vælge et minimum af punkter fordelt i hele billedet kan forholdet mellem UTM koordinaterne og pixelkoordinaterne fra det uoprettede billede findes gennem en fler-grads polynomiumsmodel og værdierne kopieres over i det geometrisk oprettede billede. Det minimale antal af GCPs, som skal indsamles, er umiddelbart betinget af hvor mange punkter, som skal bruges for at udregne polynomiet (6 for 2. gradspolynomium) men statistisk kræves der væsentligt flere for at fejl i hele billedet kan blive repræsenteret. Typisk anvendes der mellem 30 og 120 GCP's for en fuldscene (Mather, 1987).

Ved udvælgelsen af GCPs vil nogle være bedre placeret end andre. For eksempel kan punkter langs en sø være bedre end punkter på en meanderende elv, som kan have flyttet sig siden kortmaterialet blev produceret. Ligeledes kan fejl i kortmaterialet i sparsomt kortlagte områder medføre dårlige GCP'er, og det er derfor nødvendigt at sortere i dem før man endeligt opretter billedet. I snedækkede områder eller terræn uden karakteristiske knæk og andre kende punkter kan det være svært overhovedet at finde GCP'er.

Vigtigt for opretningen er det at GCP's udvælges fra hele billedet. Hvis der kun vælges GCP fra en halvdel af billedet vil fejl opstå i den anden, specielt ved anvendelse af højere ordens polynomier.

Opretningsmodel

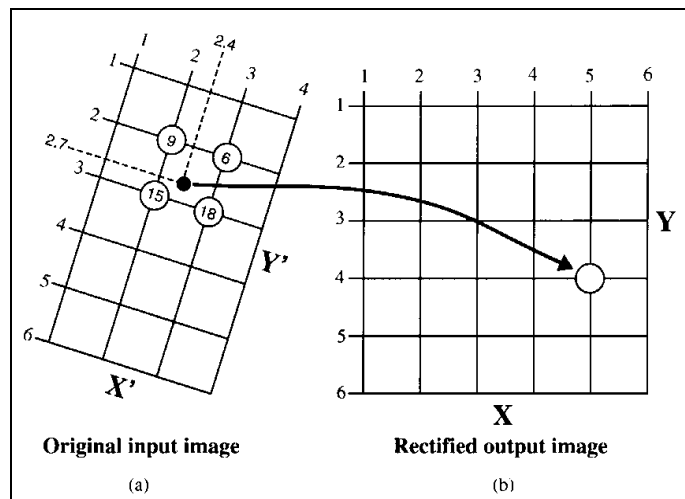
Modellen, som anvendes til opretningen er en 2.gradspolynomiumsmodel, der drejer og vrider det uoprettede billede så det bedst muligt passer til koordinatsystemet. Valg af grad på polynomiet afgøres ud fra graden af de geometriske fejl. Ved opretning af billeder fra et koordinatsystem til et andet, er det således sandsynligvis kun nødvendigt med en drejning af billedet og derfor et 1.gradspolynomium, hvorimod større fejl kan nødvendiggøre brugen af et 2. eller 3. gradspolynomium. Det anbefales dog at anvende så lav en polynomiumsgrad som muligt, for at sikre en så lav sensitivitet af model til fejl i GCP'erne som muligt (Rasmussen, 1993). Fejl i områder hvor der ikke er repræsenteret nogle GCP'er, kan som nævnt endvidere opstå ved anvendelse af 3. gradspolynomium. Graden af vrid og drej afgøres ved at størrelsen af RMS værdierne på de fundne koordinatpar minimeres mest muligt. Ved at fravælge GCPs med høje RMS værdier vil det således være muligt at sortere de dårligste fra og dermed ende med en lille usikkerhed i den geometriske opretning.

I dette studie hvor opretningen er foretaget med et 2. gradspolynomium ligger usikkerheden omkring ± 1 pixel. Ved anvendelse af en 1. grads model til opretningen var den gennemsnitlige fejl på omkring 2 pixels, hvorfor 2. gradspolynomiet blev valgt.

Interpolation af pixelværdier

I forbindelse med kopieringen af værdierne fra det ikke oprettede billede over i det oprettede billede, sker det tit at centerkoordinaten i de to tilsvarende pixels ikke falder sammen. Det er derfor nødvendigt at foretage en interpolation imellem pixelværdierne i det ikke oprettede billede og overføre den interpolerede værdi til positionen i det oprettede billede, se Figur C.12.

Forskellige metoder findes til interpolation af disse værdier, men den metode som bedst opfylder kravene om at bevare de oprindelige pixelværdier er *nearest neighbour*. Metoden tager den nærmeste pixelværdi i det uoprettede billede og kopierer den over i det oprettede billede. I eksemplet på Figur C.12 ville den kopierede værdi således være 15.



Figur C.12 Illustration af hvordan pixelværdierne i det oprettede billede (b) findes på baggrund af værdierne i det ikke oprettede billede (a) ved anvendelse af interpolation. (Jensen, 1996).

Usikkerhed ved opretningen

I forbindelse med den endelige geometriske opretning kan usikkerheden af opretningen ses som en samlet RMS værdi for de indsamlede GCP'er. I nedenstående Tabel C.11 er usikkerhed for opretningen af de 7 anvendte Landsat 5 TM billeder vist.

Tabel C.11 RMS værdier og antal anvendte GCPs ved geometrisk opretning af de 7 Landsat 5 TM billeder.

Område	Billede	Antal GCPs	RMS
Kangerlussuaq	TM950622	92	0.85
	TM960903	45	0.83
Nuuk	TM930720	42	0.97
	TM950701	37	1.19
Sydgrønland	TM930717_nord	55	0.95
	TM930717_syd	56	0.87
	TM970820	50	0.97

Som det kan ses af tabellen er der i Nuukområdet anvendt færre GCP'er og opnået en højere usikkerhed end i de andre to hovedområder. Dette skyldes at kortmaterialet i Nuukområdet ikke er så godt som i de andre men kombineret dels af godt kortmateriale fra Compukort med lav usikkerhed og dels gamle kystliniedata fra GEUS med høj usikkerhed. I landområderne i de nord- og sydøstlige hjørner af området er der ingen kortmateriale til rådighed. På trods af disse fejl ses der dog generelt for de tre hovedområder en ret lav usikkerhed, som kun ved ét billede kommer over +/- 1 pixel i usikkerhed.

C.4.1.6 Terrænkorrektion

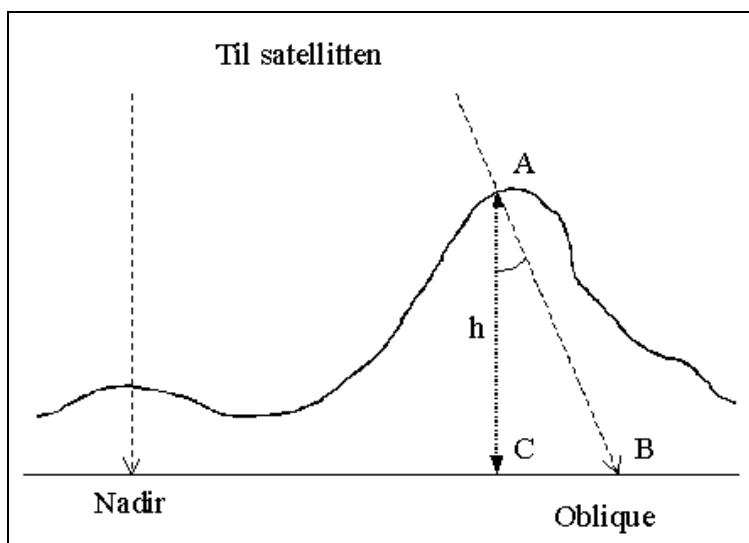
Ved kortlægning baseret på satellitbilleder i arktiske egne vil terrænet tit spille en rolle for anvendelsen af dataene. Dette vil give sig udtryk både som fejl i den geometriske opretning og som fejl i de radiometriske værdier i billedet.

Terrænkorrektion er ikke foretaget på de anvendte billeder da de eksisterende højdedata var af for dårlig opløsning. Beskrivelsen af korrektionen er dog medtaget for at give et fuldstændigt billede af præprocesseringen af satellitbilleder til anvendelse for kortlægning i Arktis.

Orthorectification

Fejl i den geometriske opretning skyldes at en pixel, som ligger over eller under højden ved nadir (lodret under satellitten) i scenen vil afvige fra sin reelle position, som vist på Figur C.13.

På et kort vil punktet A blive projekteret til positionen ved C, men fra satellitten vil det se ud som om A ligger ved positionen B. Hvis højden h kendes gennem en digital terrænmodel og synsvinklen kan blive estimeret, så kan den egentlige forskydning CB bestemmes og korrigeres. De fleste større billedbehandlingsprogrammer inkluderer en mulighed for at korrigere for denne forskydning gennem valget af GCP'er, hvor ikke bare X og Y koordinatet angives, men også højden over havet, Z. Processen kaldes for *ortho-rectification*, men kræver en digital højdemodel med samme opløsning som satellitbilledet.



Figur C.13 Terræneffekt i geometrisk opretning i reliefrikt område. Figuren er forklaret i teksten (efter Rasmussen, 1993).

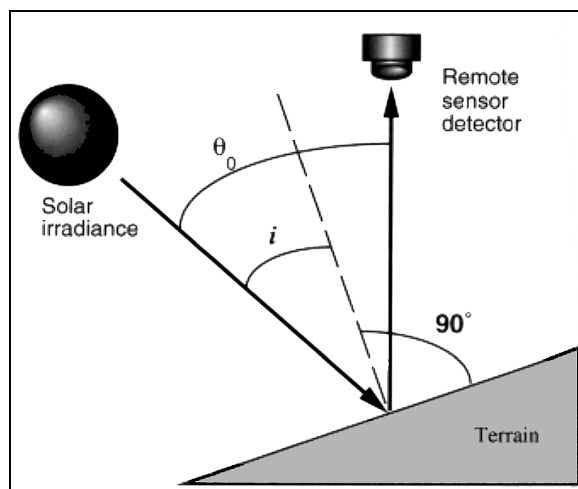
Korrektion af terræninduce- rede forskelle i refleksion

Reliefrikt område producerer, som nævnt ovenfor, også fejl i de radiometriske værdier. Dette skyldes at to ens overfladetyper med forskellig hældning og orientering vil reflektere forskelligt (Meyer *et al.* 1993, Parlow 1996) og dermed vanskeliggøre klassifikation baseret på såvel traditionelle som nye metoder (træningsklasser og *maximum likelihood*, spektralsignaturer og *spectral angle mapper* (SAM) etc.). Flere forskellige metoder til korrektion af terræneffekterne er opstillet og afprøvet indenfor de sidste 20 år (bl.a.: Civco 1989, Colby 1991, Conese *et al.* 1993, Dubayah 1992, Ekstrand 1996, Frank 1988, Franklin 1990 og 1991, Hill *et al.* 1995, Holben and Justice 1980, Meyer *et al.* 1993, Parlow 1996, Richter 1997). I Grønland er en kombineret atmosfære- og terrænkorrektion for Landsat TM blevet testet ved Zackenberg i NØ-Grønland (Hansen *et al.*, 2000). Metoden kræver dog at en digital højdemodel i opløsning tilsvarende satellitbilledet er tilgængelig.



Figur C.14 ITEX-analyser på nordvendt skråning. Terrænet medfører her en væsentlig nedsættelse i den reflekterede mængde solstråling fra pågældende dværgbuskhede på trods af at det ikke er i direkte skygge (Foto: M.P. Tamstorf).

Basis for at udregne effekten af terrænet og korrigere for denne er beregning af indfaldsvinklen (i) for solstrålingen, som vist i Figur C.15. Indfaldsvinklen er et direkte udtryk for hvordan den pågældende pixel hælder i forhold til solen, og dermed refleksionen som satellitten måler.



Figur C.15 Solens indfaldsvinkel (i) og solar zenith vinkel for en skrå overflade (Jensen, 1996).

Indfaldsvinklen (i) findes ved udtrykket:

$$\cos(i) = \cos(\alpha) * \cos(z) + \sin(\alpha) * \sin(z) * \cos(\varphi_s - \varphi_n) \quad (\mathbf{F} \ 6)$$

hvor:

- α : terræn hældning (0 - 90)
- z : solar zenith vinkel (0 - 90)
- φ_s : solar azimuth vinkel (0 - 360)
- φ_n : terræn orientering (0 - 360)

Teillet *et al.* (1982) beskrev fire metoder til terrænkorrektion, som Meyer *et al.* (1993) testede på Landsat TM data i et alpint område. Metoderne inklu-

derer en standard cosinus korrektion, to semi-empiriske metoder (Minnaert og C-korrektion) samt en statistisk-empirisk metode. Meyer *et al.* (1993) konkluderer, at der i fremtiden bør forskes mere i anvendelsen af fysisk baserede metoder, da anvendelsen for de fire ovennævnte er relativt begrænsede. Parlow (1996) introducerer en fysisk baseret model (SWIM), som udfra en digital højdemodel og viden om solhøjde på en given breddegrad, simulerer solens indstråling på de hældende flader og derved korrigerer for terræneffekterne.

Under RenVeg studiet blev der indkøbt digitale højdedata fra både Kangerlussuaq- og Sydgrønlandsområdet og disse blev anvendt til at producere digitale højdemodeller for områderne. Det viste sig dog ved forsøg med standard cosinuskorrektionen at grunddataene var af for dårlig opløsning, og derfor tilførte mere støj i billederne end de fjernede. Som nævnt i afsnit C.2.3.2 er de digitale højdedata produceret med 100 m. højdekurver. Til anvendelse med Landsat TM data med en spatial opløsning på 25 m. vil højdeforskellen indenfor en pixel ligge på langt under 100 m. og en væsentligt bedre vertikal opløsning for terrænmodellen er derfor nødvendig. Det har således ikke været muligt at gennemføre terrænkorrektion af de anvendte billeder.

C.4.1.7 Mosaik af anvendte billeder

Da hovedområderne er for store til at kunne dækkes af et billede har det været nødvendigt at anvende flere satellitbilleder for at dække hele området. De områder, som har været sne eller skydækket på et billede er også forsøgt dækket af overlappende områder med et andet billede. For enkelte områder indenfor hovedområderne har det dog ikke været muligt at skaffe skyfrie billeder og i disse områder er vegetationen derfor ikke kortlagt. For eksempel er det nordvestlige hjørne af Kangerlussuaqområdet skydækket og en stribe af Sydgrønlandsområdet i den midt-østlige del fuldstændig uden dækning på grund af dataudfald i satellitten.

Sammensætningen af flere billeder betegnes som mosaik af billederne og kan inkludere de, som er til rådighed. I *Circumpolar Arctic Vegetation Mapping* projektet (Walker og Markon, 1996) anvendes NOAA AVHRR billeder, som er sat sammen for at dække det arktiske cirkumpolare område. I RenVeg projektet er der anvendt to billeder i henholdsvis Kangerlussuaq- og Nuukområdet og tre billeder i Sydgrønland.

Usikkerhed ved mosaik af satellitbilleder

Som en forudsætning for at lave en mosaik af billeder er det nødvendigt at billederne har samme koordinatsystem. Dette gælder for de anvendte billeder idet billederne har en usikkerhed i den geometriske opretning på minimum +/- 1 pixel. Dette kan medføre at søer, kystlinier og markante terrænformer kan være forskudt med op til nogle pixels, der hvor billeder støder sammen.

Ved vegetationskortlægning er det endvidere nødvendigt at de anvendte billeder er fra omtrent samme tidspunkt af vækstsæsonen. Hvis der anvendes to billeder i samme kort fra to forskellige tidspunkter, vil resultatet højst sandsynligt ikke kunne sammenlignes direkte. Kort, produceret på basis af billeder fra starten af sæsonen, vil således ikke se de frodige vegetationstyper som frodige. Det samme vil være tilfældet med billeder fra slutningen af vækstsæsonen (Mosbech og Hansen, 1994). Det optimale er derfor at anvende billeder fra samme tidspunkt af samme vækstsæson, men som et minimum fra omtrent samme tidspunkt af vækstsæsonen. Dette er opnået for vegetationskortene ved Nuuk og i Sydgrønland, men ikke ved Kangerlussuaq (se afsnit C.2.1.1).

C.4.2 Klassifikation

Klassifikationen af overfladetyperne i de tre hovedområder er opdelt i klassifikation af vegetationsdækkede og vegetationsløse overflader. Vegetationsdækkede overflader er spektralt meget ens indbyrdes sammenlignet med de vegetationsløse overflader (sne, vand, klippe, skyer osv.), og da vægten af dette studie er lagt på vegetationen er de vegetationsløse overflader sorteret fra for at lette adskillelsen af de enkelte vegetationstyper.

C.4.2.1 Indsamling af feltdata til anvendelse i klassifikationen

De indsamlede feltdata består dels af vegetationsanalyser med koordinater (præsenteret i afsnit C.3) samt spektralsignaturer af analyserne. Indsamlingen foregik på nogle lokaliteter indenfor hvert hovedområde, og var udvalgt efter følgende krav:

- Et bredt udsnit af vegetationstyperne skal være repræsenteret i området (vurderet på baggrund af forklassificerede billeder)
- Forskelle i klimagradiënten i hovedområdet skal være dækket (primært kyst og indlandsforskelle)
- Feltlokaliteterne skal være relativt let tilgængelige
- Området skal være skyfrit på satellitbilledet

Før udpegningen af lokaliteterne blev der udarbejdet *unsupervised* klassifikationer på de tilgængelige satellitbilleder. *Unsupervised* klassifikation er forklaret nedenfor i afsnit C.4.2.2, men giver kort forklaret et billede af hvilke klasser, som billedet spektralt kan inddeles i. Formålet med disse analyser var dels at sikre at flest muligt vegetationstyper var tilstede på lokaliteten og dels at undersøge, hvor mange typer, der kan erkendes i billedet.

Efter udpegning af mulige lokaliteter blev de analyseret for de tre sidstnævnte krav. Forskelle i klimagradiënten betyder at lokaliteter placeres i yderpunkterne af gradiënten (nord/syd, kyst/indland samt topografisk).

Lokaliteterne skulle være relativt let tilgængelige. Med et begrænset budget ville det ikke være muligt at flyve med helikopter til alle lokaliteterne hvorfor det var nødvendigt at finde lokaliteter, som var tilgængelige med båd. Specielt ved Kangerlussuaqområdet var dette vanskeligt, da fjordsystemet ikke er særligt forgrenet.

C.4.2.2 Unsupervised klassifikation

Ved *unsupervised* klassifikation forstås, at der i klassifikationsprocessen ikke er nogen interaktion fra analytikerens side. Klassifikationen med inddeling i klasser er udelukkende baseret på informationen i billederne og ikke på feltobservationer, som i de nedenstående klassifikationsmetoder (*minimum distance* og *maximum likelihood*).

ISODATA

Metoden, som er anvendt, kaldes for ISODATA (*Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique*) og er beskrevet i detaljer i Jensen (1996). Joria og Jorgenson (1996) anvender i et studie af tre klassifikationsmetoder, *unsupervised* klassifikation til at klassificere tundraområder. Følgende parametre skal defineres før klassifikationen:

- Maksimalt antal klasser
- Maksimalt % uændrede efter iteration
- Maksimalt antal iterationer
- Minimum procent af pixels i en klasse
- Maksimal standardafvigelse
- Split separeringsafstand
- Minimum klasse-middelf afstand

Kort beskrevet går det ud på at data inddeles i det ønskede antal klasser, hvorefter middel og standardafvigelse beregnes for alle klasser. Der bliver så kørt en iteration mere, hvor der, baseret på forudbestemte grænser for størrelsen af klasser, bliver reklassificeret for at opfylde kravene til klassestørrelserne. Hvis en pixel ligger tæt på middel af en snæver klasse vil den ikke blive ændret, hvorimod brede klasser risikerer at blive splittet op for at danne to klasser. Når det maksimale antal iterationer er nået afsluttes processen. Minimum procent pixels i en klasse sørger for at enkelte pixels, som spektralt falder helt væk fra de andre, ikke tildeles en gruppe. Hvis standardafvigelsen derimod bliver for stor i forhold til grænsen for den maksimale standardafvigelse, splittes klassen op. Hvis split separeringsafstanden er tildelt anvendes denne i stedet for standardafvigelsen. Middelklasseafstanden bestemmer, hvornår to klasser slås sammen til en.

Klasser fra *unsupervised* klassifikation er udelukkende baseret på spektral information og kan således ikke umiddelbart relateres til overfladetyper. Ved undersøgelser i felten kan de spektrale klasser dog relateres til pågældende overfladetyper og dermed anvendes til kortlægningsformål (Jensen, 1996). Typisk klassificeres et billede med væsentligt flere klasser end det forventes af det endelige kort og ved analyse af de enkelte klasser kan nogle slås sammen og danne meningsfulde overfladeklasser. Andre klasser vil være udtryk for spektrale forskelle indenfor samme overfladetype, hvilket kan give væsentlige problemer ved udarbejdelse af et egentligt temakort baseret på *unsupervised* klassifikation.

I dette studie er *unsupervised* klassifikation anvendt til at udvælge feltlokaliteterne og under feltarbejdet til at sikre at de botanisk bestemte vegetationstyper med rimelig sikkerhed kunne adskilles på grundlag af de tilgængelige satellitbilleder.

C.4.2.3 Supervised klassifikation

Klassifikationer, som har input fra analytikerens side udover den spektrale information fra billederne kaldes alle for superviseret klassifikation. Informationen fra analytikerens side kan være som feltarbejde, tidligere kortlægning, forhåndskendskab til området, viden om spektralsignaturerne for overfladetyperne osv.

Træningsklasser

Feltarbejdet kan blandt andet resultere i definition af såkaldte træningsklasser. Træningsklasser er reelt et sæt af kendte spektralsignaturer hvor basal statistik (middel, standardafvigelse etc.) anvendes til at beskrive de enkelte klasser i forhold til hinanden. Denne viden overføres så til hele satellitbilledet og resulterer i et kort med klasser svarende til de i træningsklasser definerede.

I dette projekt er der indsamlet to former for træningsklasser; dels positioner for kendte overfladetyper (blandt andet fra vegetationsanalyserne) og dels spektralsignaturer målt over samme overflader. I afsnit C.3.2 på side 39 er overfladetyperne for kortlægningen kort beskrevet. For at anvende spektralsignaturer som basis for træningsklasser, er det vigtigt at disse tilsvare den spektrale sammensætning af pågældende overfladetype i satellitbilledet. En analyse af denne sammenhæng kan blandt andet foretages ved at teste om middel og standardafvigelse for henholdsvis spektralsignaturerne og satellitbilleder for de valgte overflader er ens. Denne analyse foretages med F- og t-test for henholdsvis standardafvigelsen og middel. I C.5.1 er resultatet af en sammenligning mellem de indsamlede spektralsignaturer og satellitbillederne præsenteret.

Supervised metoder

Ved sortering af pixels efter de relevante træningsklasser, på baggrund af satellitbillederne og analytikerens information, kan der vælges mellem flere metoder. De tre metoder som er anvendt i kombination i dette projekt er:

- *Minimum distance* og
- *Maximum likelihood*
- *Normalized Difference Vegetation Indeks (NDVI)*

Metoderne er uddybet i Jensen (1996) og anvendt blandt andet i Joria og Jorgenson (1996) ved test af klassifikationsmetoder i arktisk tundra. Gong og Howarth (1990) anvender både *minimum distance* og *maximum likelihood* i en generel analyse af klassifikationsmetoderne.

Minimum distance

Minimum distance klassifikationsmetoden anvender afstanden imellem træningsklassernes middel til at klassificere alle pixels i billedet. En pixel bliver tildelt til den klasse, hvis middelværdi ligger i kortest afstand. Forskellige metoder kan anvendes ved beregning af afstanden, men i dette projekt anvendes den euklidiske afstand:

$$Dist_{A_{mean}B_{mean}} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (a_i - b_i)^2} \quad (\text{F } 7)$$

Metoden er hurtig, men er ikke baseret på viden om træningsklassernes statistiske udbredelse (varians) og kan derfor ikke skelne mellem brede og snævre klasser. Input til metoden er basisstatistik for træningsklasserne samt eventuelt en grænseværdi, så pixels der ligger langt fra alle andre grupper ikke inkluderes, men tildeles en egen klasse.

Maximum likelihood

Maximum likelihood, tildeler pixels til de definerede træningsklasser på baggrund af deres statistiske sandsynlighed for at tilhøre den pågældende klasse. Metoden forudsætter en normalfordeling af refleksionsværdierne i de enkelte spektrale bånd. Findes en bi- eller trimodal fordeling bør træningsklasser opdeles efter dette, da det højst sandsynligt er tegn på forskellige klasser og ikke en klasse med to eller tre grupperinger (Jensen, 1996). Input til *maximum likelihood* metoden kan udover de basale statistikberegninger for træningsklasserne også inkludere *a priori* viden om den arealmæssige fordeling af klasserne. Derved vægtes den enkelte klasse, så klasser med relativt stor udbredelse får tildelt et større sandsynlighedsrum. Klassen kan også begrænses med en grænseværdi så pixels kun tildeles til en klasse, hvis de ligger indenfor en bestemt sandsynlighed.

Normalized Difference Vegetation Indeks (NDVI)

NDVI er ikke en klassifikationsmetode på lige fod med de to ovenstående men et vegetationsindeks, som angiver vegetationens frodighed (Rouse *et al.* 1975). Mange forskellige indeks er opstillet igennem de sidste 30 år (RVI, PVI, SAVI etc.), men i dette projekt er NDVI anvendt til adskillelse imellem vegetationsdækkede overflader og bar jord. NDVI beregnes på følgende måde:

$$NDVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)} \quad (\text{F } 8)$$

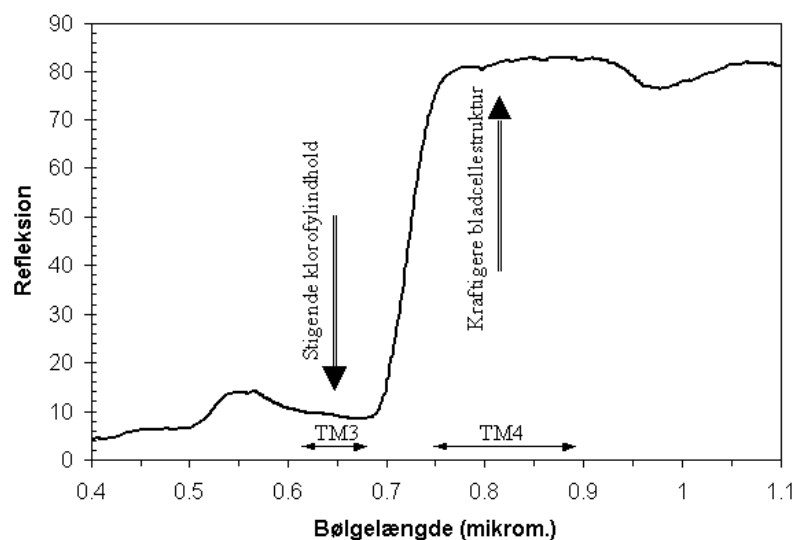
hvor

NIR: Nærinfrarøde spektra (TM4 for Landsat 5 TM)

RED: Røde spektra (TM3 for Landsat 5 TM)

NDVI producerer værdier indenfor intervallet -1 og 1 . Værdier under 0 vil være repræsenteret ved overflader, hvor den nærinfrarøde refleksion er lavere end den røde (sne, vand, skyer etc.), hvorimod værdier over 0 vil være repræsenteret af vegetation, bar jord osv. På baggrund af de målte spektralsignaturer (se afsnit C.3.1) er der fundet en minimumsværdi for områder, som er dækkede med vegetation på $NDVI=0.15$. Dette vil inkludere fjeldmark og afblæsningsflader som har et lille dække af mosser, laver og enkelte planter, hvorimod klippeflader med mikrolaver kun er inkluderet, hvis det er indenfor et mere vegetationsdækket område. I områder med meget lav refleksion vil små forskelle i de to spektre give uforholdsmæssigt store udsving i NDVI, og det kan derfor forekomme at for eksempel skyggeområder viser høje NDVI værdier.

Den plantefysiologiske baggrund for NDVI ligger i klorofyl og cellestrukturernes refleksionsegenskaber. Da klorofyl absorberer solstråling i det røde bånd vil vegetationen absorbere kraftigere, jo mere klorofyl den indeholder, og samtidig vil den kraftigere cellestruktur i bladene medføre en øget refleksion af strålingen i det nærinfrarøde spektre (se Figur C.16).



Figur C.16 Refleksionsspring for vegetation omkring 0.73 Tm . $TM3$ og $TM4$ kanalerne for Landsat 5 TM er angivet.

Disse to mekanismer vil under udviklingen af planten i løbet af en vækstsæson medføre et voksende spring i refleksionskurven, som kan anvendes til blandt andet bestemmelse af plantefysiologiske parametre som *leaf area index* og lignende (se afsnit B.1.4.2 for referencer). Springet kan, som i dette projekt, altså også bruges til at skelne mellem vegetationsdækkede og vegetationsløse overflader.

Den præcise spektrale placering af kanalerne for NIR og RED er vigtig ved sammenligning af værdier imellem studier. Galvão *et al.* (2000) har udfra hyperspektrale AVIRIS (*Airborne Visible/Infrared Imaging Spectrometer*) data undersøgt effekten af varierende placering af de spektrale bånd ved NDVI beregning fra de mest anvendte multi-spektrale sensorer. De fandt at placeringen af begge bånd var af relativ stor betydning og at Landsat 5 giver den største kontrast imellem grøn vegetation og jord, hvorimod NOAA-11 AVHRR giver den laveste kontrast af de testede sensorer. For regionale eller storskala studier er AVHRR p.t. dog en af de eneste sensorer, som kan dække arealer med passende temporale og spatiale opløsning og denne er derfor

også anvendt i Sektion D i den retrospektive analyse af vegetationen i Vestgrønland.

I vegetationskortlægningen er NDVI anvendt til at reklassificere eventuelle pixels som var tilfaldet henholdsvis *Bar jord / Klippe* og *Vegetationsdækkede områder*, men som burde have været i den modsatte klasse. Efter den egentlige klassifikation blev alle pixels i klassen *Bar jord / Klippe* med en NDVI værdi på 0.15 og derover reklassificeret til vegetationsklassen og omvendt.

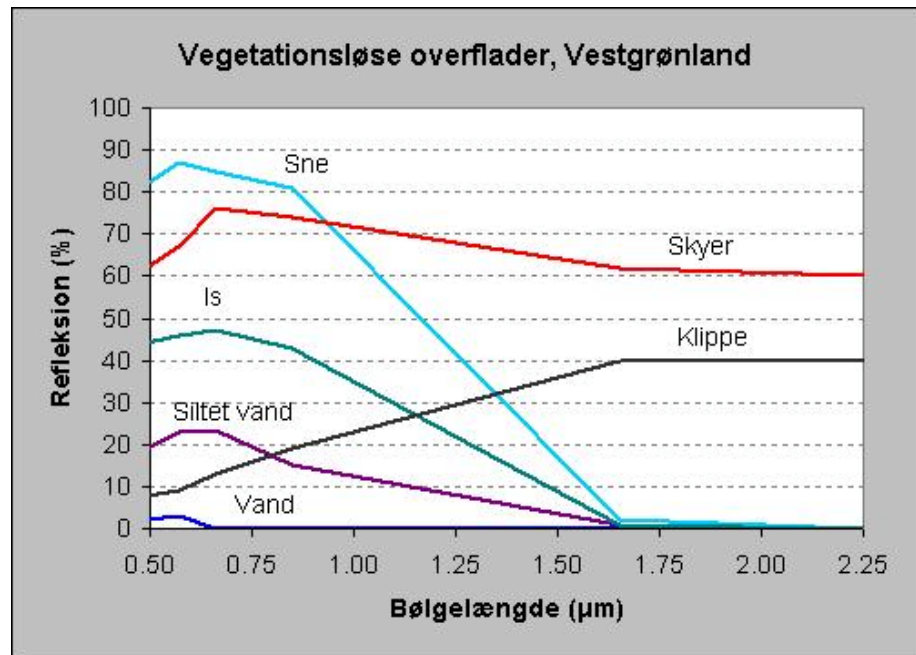
C.4.2.4 Kortlægning af vegetationsløse overflader

De vegetationsløse flader i Vestgrønland er opdelt primært ud fra et ønske om større dybde i det endelige klassifikationsresultat. Reelt er det kun de vegetationsdækkede overflader, som er af interesse, men forholdet imellem de andre typer og de vegetationsdækkede kan afdække forhold som ikke kan erkendes alene ud fra vegetationen. For eksempel er mængden af vand og sne en vigtig faktor for vegetationen.

Skygge- og skyområder er ikke nødvendigvis vegetationsløse områder, men områder hvor det ikke er muligt at få information omkring overfladen. Det er derfor vigtigt at brugeren af kortene er opmærksom på dette.

Det har ikke været muligt at få helt skyfrie billeder, idet der på alle billederne som minimum er en enkelt cumulus sky eller to. De terrænbetinget skygedækkede områder kan heller ikke undgås, da satellitten overflyver på samme tidspunkt af døgnet og skyggerne derfor falder næsten ens på alle billeder. Afhængigt af tidspunktet på året er skyggerne dog kortere eller længere og det er derfor tilsigtet at anskaffe billeder fra midten af juli, hvor vegetationen er på det højeste og skyggerne relativt korte. Som nævnt i afsnit C.2.1 er det tilgængelige billedmateriale ikke stort og det har derfor været nødvendigt at acceptere billeder med lange skygger.

Figur C.17 viser eksempler på spektralsignaturer for de vegetationsløse overflader i Nuukområdet. De vegetationsløse flader er meget forskellige fra hinanden og er derved nemme at adskille. Specielt i de første 4 TM bånd er forskellen stor imellem de viste overflader. Sne og skyer er ofte ens i disse bånd, men kan tilgængeligt differentieres i bånd 5 og 7, hvor skyer har høj refleksion og sne og is lav refleksion. De primære årsager til denne forskel er dels at vanddråber og iskrystaller i skyen er mindre end i sne på jorden og dels at de fleste skyer indeholder vand (selv ved temperaturer under 0°). Skyerne reflekterer derfor bedre ved de midt-infrarøde bølgelængder end sne gør (Dozier, 1989).



Figur C.17 Spektralsignaturer for vegetationsløse overflader i Vestgrønland. Spektralsignaturerne er baseret på de 6 Landsat TM kanaler i de synlige og nær- og midtinfarøde spektre.

Til kortlægningen af de vegetationsløse overflader er der anvendt en kombination af *maximum likelihood* og *minimum distance* klassifikationer.

Metodekombination for vegetationsløse områder

Træningsområder for alle de vegetationsløse klasser blev tegnet på basis af forhåndskendskab til overfladerne. De vegetationsløse områder blev derefter klassificeret ved *maximum likelihood* metoden. Med *maximum likelihood* metoden har nogle områder for lav sandsynlighed til at tilhøre nogen klasser. Eller de ligger uden for de grænseværdier, der kan tildeles de enkelte klasser, og derfor er blevet klassificeret som blandingspixels. Det vil sige pixels, som med *maximum likelihood* ikke kan defineres i en bestemt klasse.

På disse pixels blev der derfor kørt en *minimum distance* klassifikation og de tidligere uklassificerede pixels fik så tildelt en klasse på baggrund af den nye klassifikation. *Minimum distance* kan sættes til at klassificere alle de pixels man ikke har fået klassificeret ved *maximum likelihood* og tildele dem til den klasse de ligger nærmest. Kun hvis der er samme afstand til flere klasser (hvilket sker meget sjældent) vil klassen ikke kunne tildeles.

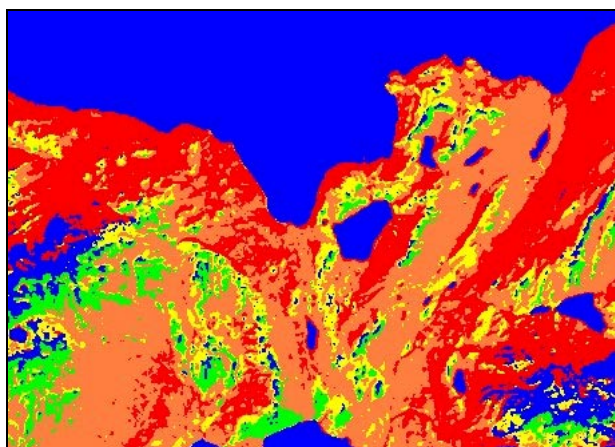
Billedet blev derefter filtreret med et 3*3 filter, som reklassificerer den midterste pixel i filteret til typeværdien, hvis 6 eller flere pixels af de 9 i filteret har den samme værdi. Dette giver et bedre overblik over kortet til præsentationsformål idet enkelte typer indenfor større homogene områder dermed fjernes. Endelig blev de to grupper med bar jord / klippe og vegetationsområder reklassificeret på baggrund af en grænseværdi (NDVI~0.15). Hermed sikres at pixels som reelt er vegetationsdækkede, men er blevet klassificeret som vegetationsløse kommer med i kortlægningen af vegetationsdækkede klasser. Grænsen på NDVI=0.15 er sat ud fra analyser af kendte vegetationsløse og sparsomt vegetationsdækkede overflader.

C.4.2.5 Kortlægning af vegetationsdækkede overflader

De vegetationsdækkede områder er kortlagt over to omgange. I første omgang inden feltarbejdet med *ISODATA* og dernæst på baggrund af indsamlede feltdata med *maximum likelihood*.

Unsupervised kortlægning af vegetation

Kortlægningen med *ISODATA* blev foretaget for at give mulighed for planlægning af feltarbejdet og for at sikre at der var en mulighed for spektralt at adskille de botanisk definerede vegetationstyper. Efter at de vegetationsløse områder var frasorteret blev *ISODATA* anvendt til at klassificere områderne med 5, 6, 7 og 8 spektrale klasser (Figur C.18).

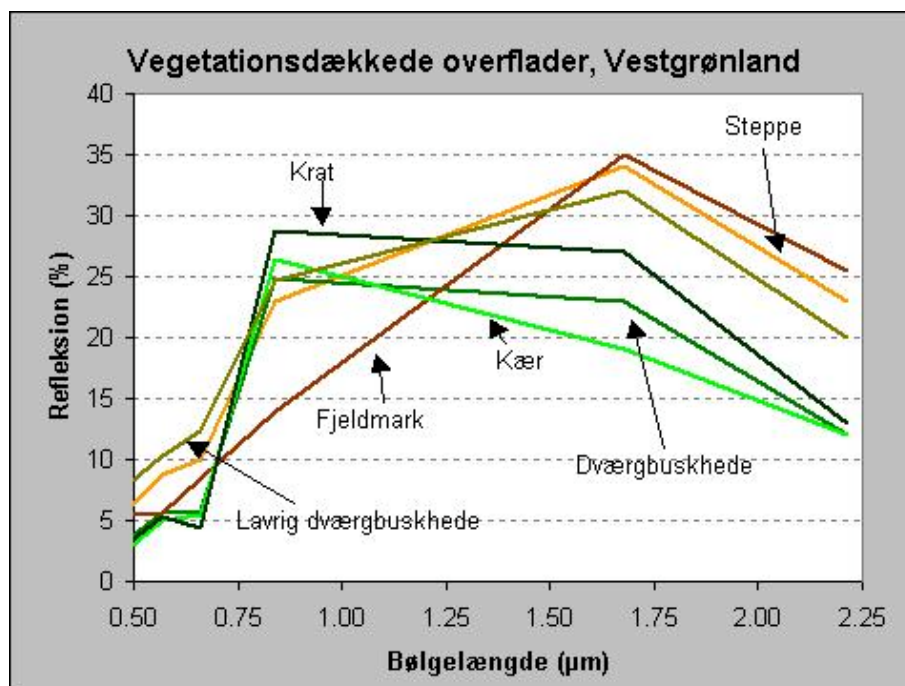


Figur C.18 *ISODATA* klassifikation med 5 klasser fra Itinnera i Nuukområdet. Kun vegetationsdækkede flader er inkluderet i klassifikationen, idet blå er ikke vegetationsdækkede overflader.

De *ISODATA*-klassificerede områder er baseret på spektrale forskelle og kan således ikke tildeles vegetationsrelaterede navne.

Supervised kortlægning af vegetation

Klassifikation af de vegetationsdækkede overflader er sket ved anvendelse af traditionel superviseret klassifikation på baggrund af feltindsamlet viden om overfladetyperne (C.4.2.1). De kortlagte vegetationstyper inkluderer 8 vegetationstyper og er præsenteret i afsnit C.3.2.1 på side 40.



Figur C.19 Spektralsignaturer for vegetationsdækkede overflader i Vestgrønland. Spektralsignaturerne er baseret på de 6 Landsat TM kanaler i de synlige og nær- og midtinfarvode spektre.

Som det fremgår af Figur C.19 adskiller vegetationstyperne sig ikke spektralt så meget fra hinanden, som de vegetationsløse overflader. Alle signaturerne har det for vegetation meget karakteristiske spring i refleksionen mellem TM3 og TM4 (omkring 0.75 Tm). Jo kraftigere vegetation, desto større spring. Kun fjeldmark har et knap så karakteristisk spring, idet denne type er meget vegetationsfattig.

Metodekombination for vegetationsdækkede områder

Ved kortlægningen af de vegetationsdækkede overflader er der udelukkende anvendt *maximum likelihood* baseret på træningsarealer fra feltarbejdet og satellitbillederne. Efter klassifikationen er vegetationskortet for præsentationsformål blevet filteret med et 3*3 filter, som beskrevet i afsnit C.4.2.4 og kombineret med resultatet fra kortlægningen af de vegetationsløse områder. Ved analyserne af fordelingen af vegetationstyperne er disse udført på den ikke-filtrerede klassifikation.

C.4.3 Usikkerhedsbestemmelse

Usikkerhedsbestemmelsen (*Accuracy Assessment*) er baseret på feltindsamlede data fra GPS bestemte positioner. I det følgende afsnit beskrives først indsamlingen af data og dernæst anvendelsen af disse til beskrivelse af usikkerheden af klassifikationen

C.4.3.1 Indsamling af data til usikkerhedsbestemmelse

Indsamling af data til usikkerhedsbestemmelse blev grundet logistiske begrænsninger foretaget dels til fods langs transekter ud fra centrale lejre og dels ud fra helikoptertransekter. Helikoptertransekterne foretrakkes, idet de dækker større områder og derfor sikrer at de enkelte lokaliteter er uafhængige af hinanden. Ulempen ved helikoptertransekter er dog prisen og grundet begrænsningen i økonomi er nogle af transekterne udlagt som vandringstransekter.

Vandringsbaserede transekter

Lokaliteterne, der blev brugt som udgangspunkt for vandringstransekterne, blev udvalgt ud fra et ønske om at så mange af de kortlagte vegetationstyper som muligt skulle være tilgængelige indenfor en radius af 5 km fra lejren. Transekterne blev derefter lagt i en trekant, så man går 5 km ud ad en transekt i en tilfældig valgt retning, derefter 1 km mod højre så man opnår endnu en 5 km lang transekt tilbage til lejren. Retningen er udlagt tilfældigt for ikke at tilføje *bias* i valget af valgte analysepunkter. Længden af transekten er valgt ud fra et skøn om, hvor langt man kan gå på en dag med tilhørende tid til observationer.

Helikopterbaserede transekter

Helikoptertransekterne er lagt ud for at få størst mulig dækning af landområder ud fra placeringen af lufthavnene. Ved Nuuk blev transekten således foretaget over Akia, da en transekt i anden retningen ville bruge for meget flyvetid til transport over vand. Som for de vandringsbaserede transekter blev også helikoptertransekterne lagt ud som en trekant. Retningen af den første side blev foretaget tilfældigt.

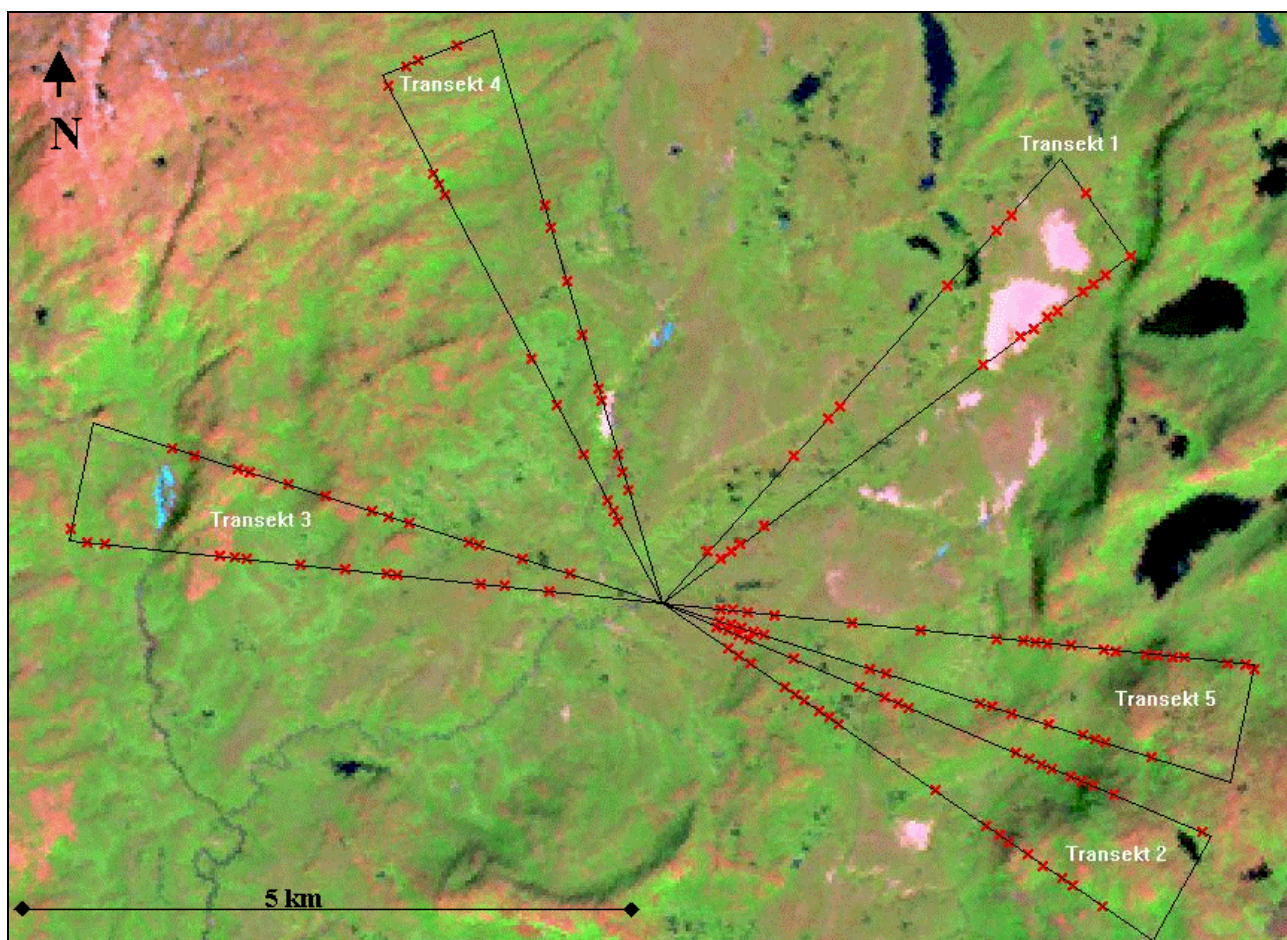
Valg af homogene lokaliteter

På hver transekt blev homogene områder af en størrelse på minimum 3*3 pixels og med en indbyrdes afstand på henholdsvis minimum 100 m ved vandringstransekterne og minimum 250 m ved helikoptertransekterne udvalgt. Ved at vælge punkterne i homogene områder mindskes chancen for at usikkerheden i positionsbestemmelsen medfører en fejlklassificering. Homogene områder større end 3*3 forekommer dog ikke ofte, og det ville derfor ikke være muligt at finde tilstrækkeligt med punkter, som ville opfylde et krav om homogenitet i for eksempel et 5*5 pixel stort område.

Ved de vandringsbaserede transekter er der endvidere ikke registreret punkter, som ligger nærmere på lejrene end 500 m. Dette giver en afstand imellem punkterne på de to ben af transekter på cirka 50 m stigende til 1 km for enden af de to transektben. Et eksempel på transektplaceringer og samplingspositioner omkring lejren nord for Qussuk er vist på Figur C.20. Billedet viser Landsat TM bånd således, at grønne farver er vegetationsdækkede overflader og røde farver vegetationsløse overflader. Lyseblåt er snedækkede overflader og sort er vand eller skygger. Hvert af de lange ben på en transekt er 5 km og endestykket 1 km, så hver transekt i alt er 11 km lang. Afhængig af homogeniteten af overfladen langs transekten har hver transekt mellem 20 og 45 punkter, hvor der foretages observationer til usikkerhedsvurderingen af vegetationskortene.

Under feltarbejdet anvendtes GPS'en til navigation til næste punkt på transekten, hvorefter følgende arbejde blev udført:

- Bestemmelse af vegetationstypen. Hvis en sekundær vegetationstype udgjorde mere end 30% noteredes det. Tertiær type noteredes i tilfælde, hvor tre typer antog lige stor dækningsgrad.
- Tildeling af *fuzzy class* (hvor godt stemmer den observerede vegetationstype overens med den klassificerede).
- Notering af koordinater
- Fotos til beskrivelse af punktet tages. Der tages mellem 1 og 4 fra hvert punkt afhængig af homogeniteten af området. Fotos blev senere anvendt til verificering af overfladetyper i forbindelse med analysen.



Figur C.20 Transektplacering og positioner for homogene punkter nord for Qussuk i Nuukområdet. Billedet er sammensat af Landsat TM bånd 7, 4, 3 i henholdsvis rød, grøn og blå farvekanal.

Udlægningen af punkterne er altså primært tilfældig. I de tilfælde hvor der er sket en styring, f.eks. startpunkt på transekten, har det ingen statistisk betydning for anvendelsen af dataene til usikkerhedsvurdering af kortene

Grundet de logistiske begrænsninger med feltarbejde i Grønland blev der kun indsamlet data til usikkerhedsbestemmelse i Kangerlussuaq- og Nuukområdet. De indsamlede data fordelte sig på de kortlagte typer som vist i Tabel C.12.

Tabel C.12 Antal lokaliteter for indsamlede data til anvendelse ved usikkerhedsvurdering.

	Busk hede	Fjeld mark	Græs land	Kær	Krat	Lavholdig hede	Steppe	Bar jord	Skygge	Vand	Silt vand
Kangerlussuaq	94	6	13	3	3	1	6	12	1	25	12
Nuuk	106	32	1	15	32	48	1	2	0	4	0

Fuzzy class niveauer

Fuzzy class'erne kan tildeles på fem niveauer, som bestemmes ud fra overensstemmelsen imellem den observerede type og den klassificerede (Gopal og Woodcock, 1994). Disse kan så anvendes til en mere præcis beskrivelse af usikkerheden og dermed give et bud på homogeniteten af den pågældende pixel i modsætning til en traditionel usikkerhedsvurdering, som kun angiver korrekt eller falsk. Metoden er beskrevet nærmere nedenfor og en præsentation af resultaterne fra usikkerhedsvurderingen er givet i afsnit C.5.

C.4.3.2 Anvendt usikkerhedsestimering

Til analysen af feltdata er der anvendt dels den traditionelle *confusion matrix*, som giver et overordnet estimat af usikkerheden i kortlægningen og dels en grundigere analyse af usikkerheden baseret på *fuzzy data*. I den følgende beskrivelse af usikkerhedsbestemmelse er der, for at give en bedre forståelse af metoderne, anvendt data fra Kangerlussuaq som eksempel, men en egentlig gennemgang af resultaterne og deres betydning for kortlægningen følger først i afsnit C.5.

Sample-størrelser

Ved statistisk analyse af usikkerheden i tematiske kort skal der anvendes et minimum af punkter for at opretholde den statistiske sandsynlighed for uafhængighed og indsamling af data, som repræsenterer alle miljøer i kortlægningen. Almindelig binomial sandsynlighedsteori (Fitzpatrick-Lins, 1981) foreslår relativt små *sampling*-størrelser baseret på

$$N = \frac{Z^2 * p * q}{E^2} \quad (\text{F } 9)$$

hvor:

- N: *sampling*-størrelse
- Z: 2 (1.96 for 95% konfidens interval)
- p: forventet procent sikkerhed
- q: 100-p
- E: tilladte fejl

For området ved Kangerlussuaq vil det betyde en *sampling*-størrelse omkring 62 lokaliteter (80% sikkerhed med fejl på +/-10%). Dette kan dog nemt blive for få til god usikkerhedsestimering og Congalton (1991) foreslår derfor indsamling af data fra minimum 50 lokaliteter per klasse, som skal vurderes. Hvis der således er 11 klasser i en kortlægning, skal der indsamles data fra minimum 550 tilfældige lokaliteter fra hvert kort, som skal vurderes.

Dette mål er langt fra opfyldt med de indsamlede data for dette projekt. Konsekvensen af dette vil derfor blive et ringere estimat af usikkerheden og er nærmere diskuteret i afsnit (C.6.1.4)

Confusion matrix

Den traditionelle *confusion matrix* er nok den hyppigst anvendte metode til estimering af usikkerheden for tematiske kort fra satellitbaseret kortlægning (Congalton 1988a, 1988b, 1991, Congalton og Green 1993, Hammond og Verbyla 1996, Hudson og Ramm 1987, Janssen og van der Wel 1994, Lunetta *et al.* 1991, Ma og Redmond 1995, Muller *et al.* 1998, Næsset 1995, Skidmore og Turner 1989, Verbyla og Hammond 1995).

Klasser fra kortet sammenlignes direkte med de observerede klasser fra feltarbejdet i en matrix. I Tabel C.13 ses eksemplet fra Kangerlussuaq hvor de klasser, som blev observeret i felten er angivet i kolonnerne og klasserne fra kortet i rækkerne. Der hvor klasserne er ens vil det resultere i en værdi på diagonalen. Således er 73 af på kortet 80 klassificerede pixels tilhørende klassen *Type 1* korrekt klassificeret, altså 91.25%. De sidste 7 fordeler sig på andre klasser. Dette mål for usikkerhed kaldes også *Users accuracy* idet brugeren, som anvender kortet, kun kan forvente at klassen *Type 1* i 91.25% af tilfældene reelt er *Type 1*.

Tabel C.13 Eksempel på en *confusion matrix* for en klassifikation.

Kort	Felt				Kort total	Users accuracy
	Type 1	Type 2	Type 3	Type 4		
Type 1	73	5		2	80	91.25
Type 2	11	2			13	15.38
Type 3	1		11		12	91.67
Type 4				25	25	100.00
Felt total	85	7	11	27	130	
Producers accuracy:	85.88	28.57	100.00	92.59		

Omvendt kan usikkerheden ses fra analytikerens side (*Producers accuracy*), hvor det undersøges hvor mange af de pixels som reelt er *Type 1*, som er kortlagt som denne klasse. I ovenstående tilfælde er det 73 pixels ud af 85 og dermed 85.88% som er kortlagt korrekt. *Users* og *producers accuracy* anvendes tit til at sammenligne de enkelte klasser med hinanden og se hvilke som er dårligt adskilt.

Et overordnet mål for usikkerheden fås gennem de to usikkerhedsberegninger:

- Overordnet usikkerhed (P) og
- Tau koefficienten (τ)

Overordnet usikkerhed

Den overordnede usikkerhed beregnes som summen af diagonalværdierne divideret med det samlede antal pixels anvendt i usikkerhedsberegningen (Jensen, 1996):

$$P = \frac{\sum_{i=1}^M x_{ii}}{N} \quad (\mathbf{F\ 10})$$

hvor:

N: samlede antal pixels anvendt

M: antal klasser anvendt i usikkerhedsestimeringen

x_{ii} : diagonalværdien for en klasse

P beskriver altså en gennemsnitsværdi for, hvor stor sandsynligheden er for at en hvilken som helst kortlagt pixel reelt tilhører den klasse, som den er blevet tildelt. I ovennævnte eksempel (Tabel C.13) er P således $(73+2+11+25= 111/130=)$ 0.854. Altså en overordnet usikkerhed, hvor 85.4% er korrekt klassificeret.

Tau (τ) koefficient

τ : koefficienten er baseret på Kappa statistik (Ma og Redmond, 1995) og inkluderer dermed ikke kun diagonalværdierne i beregningen, men også række og kolonnetotalerne for at give et bedre bud på en generel usikkerhed.

τ : beregnes som følger:

$$\tau = \frac{P_0 - P_r}{1 - P_r} \quad (\text{F 11})$$

hvor:

$$P_0 = P = \frac{\sum_{i=1}^M x_{ii}}{N} \quad (\text{F 12})$$

og

$$P_r = \frac{1}{M} \quad (\text{F 13})$$

når klasserne har lige stor sandsynlighed eller

$$P_r = \frac{1}{N^2} \sum_{i=1}^M n_{i+} * x_j \quad (\text{F 14})$$

for a priori sandsynlighed for klassetildelingen.

Grunden til at τ anvendes istedet for den oprindelige Kappa statistik, er at Foody (1992) fandt at Kappa underestimerer den generelle sikkerhed i kortlægningen. Der henvises til Foody (1992) for en nærmere gennemgang af dette samt til Ma og Redmond (1995) og Muller *et al.* (1998) for eksempler på anvendelsen af τ . En af de store fordele ved τ er at der kan beregnes en varians for usikkerheden, som kan anvendes til at sammenligne klassifikation og dermed vurdere om ændringer i kortene er signifikante. Specielt ved undersøgelser af klimaændringer og græsningstryk er dette en fordel. I eksemplet fra før (Tabel C.13) er $\tau = 0.805$ og dermed en lidt lavere sikkerhedsestimering af resultatet end den traditionelle P giver.

Fuzzy analyse

Som beskrevet i afsnit C.4.3 under indsamling af feltdata er der anvendt *fuzzy* analyse under indsamlingen af feltdataene. Vegetationstyperne i Vestgrønland forekommer som rene typer, men er tit en blanding af flere forskellige typer indenfor samme pixel, såkaldte mixels. I disse tilfælde er det ofte svært og forkert at tildele en fast type og for at analysere udbredelsen af de fejl som det medfører er *fuzzy* analyse anvendt. Fordelen ved *fuzzy* analyse er altså at den i modsætning til den traditionelle *confusion matrix*, kan anvendes til at give en mere nuanceret billede af fejl og fejlkilder ved tematisk

kortlægning fra satellitbaseret materiale. Metoden blev først introduceret af Gopal og Woodcock (1994) og er siden blevet anvendt i Arktis af blandt andre Muller *et al.* (1998).

Ved traditionel usikkerhedsvurdering angives den kortlagte og den observerede klasse. Ved *fuzzy*-vurderingen bliver hver klasse i kortlægningen ved hver feltlokaltet tillagt en værdi på baggrund af dens tilhørsforhold til den observerede overfladetype. Tildelingen sker ud fra en 5-trinsskala, som først blev foreslået af Gopal og Woodcock i 1994 (se Tabel C.14).

Tabel C.14 5-trinsskala for *fuzzy class* tildeling ved usikkerhedsvurdering (Gopal og Woodcock, 1994).

Værdi	Beskrivelse
1	Helt forkert. Stemmer overhovedet ikke overens og er helt uacceptabelt
2	Forståeligt, men forkert. Stemmer ikke overens og er ikke et godt svar.
3	Rimeligt svar. Stemmer nogenlunde overens og er et nogenlunde svar.
4	Korrekt svar. Stemmer fint overens. Et udemærket svar.
5	Helt korrekt. Stemmer perfekt overens og er det eneste svar.

Da tilhørsforholdet for hver klasse bliver bestemt i felten er det på baggrund af disse data muligt at analysere fejlkilderne bedre og give et estimat af homogeniteten for pixelen. Således kan en pixel af blandingen dværgbuskhede, lavholdig dværgbuskhede og græsland godt opnå værdien 3 eller 4 i alle klasserne da mægtigheden og fordelingen af de tre vegetationstyper indenfor pågældende pixel er ens.

Fuzzy analysemoduler

Analysen af *fuzzy*-dataene er opdelt i tre moduler, som alle er anvendt i estimeringen af usikkerheden for vegetationskortene:

- *Max* og *Right*-modulet
- *Difference*-modulet
- *Membership*-modulet

Max og Right-modul

Max og *Right*-modulet er frekvensanalyser af de observerede *fuzzy*-data og dækker over dels hvor ofte en tildelt kategori er den bedste for pågældende lokalitet (*Matches* i *Max*) og dels hvor ofte den tildelte kategori er acceptabel (*Matches* i *Right*). *Right* defineres ud fra at kategorien skal have tildelt en værdi på 3, 4 eller 5 i *fuzzy* analysen. *Max* er en mere konservativ vurdering og medtager kun den bedst vurderede klasse (5). Anvendelsen af *Max/Right* vurderingen ligger i muligheden for at se forskellen mellem *Max* og *Right*. Forskellen vil være et udtryk for den andel af vegetationstypen som giver et acceptabelt bud på overfladetype om end ikke det perfekte. Et eksempel på en analyse er vist i nedenstående Tabel C.15.

Tabel C.15 *Max og Right analyse af fuzzy data eksempel.*

Klasse	Lokaliteter	Max (M) - Bedste svar				Right (R) - Rigtigt				Forbedring (R-M)	
		Matches		Mismatches		Matches		Mismatches			
Type 1	94	62	66.0	32	34.0	80	85.1	14	14.9	18	19.1
Type 2	13	1	7.7	12	92.3	3	23.1	10	76.9	2	15.4
Type 3	12	10	83.3	2	16.7	12	100.0	0	0.0	2	16.7
Type 4	25	25	100.0	0	0.0	25	100.0	0	0.0	0	0.0
Total	144	98	68.1	46	31.9	120	83.3	24	16.7	22	15.3

I sidste kolonne er forbedringen ved at gå fra den relativt konservative usikkerhedsvurdering, *Max*, til den mere bredt accepterende vurdering, *Right*, vist dels i pixels og dels i procent. Her er forbedringen 22% og dermed andelen af det samlede kort som giver en acceptabel vurdering af overfladetypen. Vurderingen kan også foretages på enkelt typeniveau. For eksempel er forbedringen af den dårligt klassificerede Type 2 kun på 2% og viser således at ikke engang en moderat vurdering tillader denne klasse at være acceptabel.

Difference-modul

I *Difference*-modulet evalueres størrelsen og frekvensen af fejl indenfor hver klasse. I Tabel C.16 er vist et eksempel på en *Difference*-tabellen.

Difference beregnes ved at der fra den tildelte klasses *fuzzy*-værdi trækkes den derudover højeste *fuzzy*-værdi på lokaliteten. Værdien for *Difference* vil altså ligge fra -4 for en helt forkert klassificeret pixel til +4 for en korrekt klassificeret og homogen pixel. Graden af *Difference*-værdien antyder altså grad af homogenitet i pixelen, idet mixels vil få lavere *Difference*-værdier. *Difference*-værdierne er i analysen opdelt i hvornår den tildelte klasse har den største eller samme *fuzzy*-værdi som andre typer (*Matches*), og hvornår den tildelte klasse har en lavere *fuzzy*-værdi end andre typer på lokaliteten (*Mismatches*). En pixel, som har fået vurderingen 5 for den kortlagte type mens alle andre typer har fået vurderingen 1 vil således få en *Difference*-værdi på 4. Dette antyder en homogen, velklassificeret pixel. Hvis den kortlagte type omvendt havde fået vurderingen 1 og en type vurderingen 5 ville *Difference*-værdien blive -4, som antyder en helt forkert klassificeret pixel. Ved beregning af middel for henholdsvis *Mismatches* og *Matches* giver mulighed for en differentiering af usikkerheden indenfor hver klasse.

Tabel C.16 *Difference*-analyse eksempel.

Klasse	Lokaliteter	Mismatches					Matches					Beregnet middel af Mismatches	Beregnet middel af Matches
		-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4			
Type 1	94	5	4	5	9	9	14	26	13	9	-2.22	1.99	
Type 2	13	0	6	3	2	1	1	0	0	0	-2.36	0.50	
Type 3	12	0	0	0	1	1	1	0	4	5	-1.00	3.00	
Type 4	25	0	0	0	0	0	1	0	0	24	0.00	3.88	
Total	144	5	10	8	12	11	17	26	17	38	-2.23	2.50	
% af Total		3.5	6.9	5.6	8.3	7.6	11.8	18.1	11.8	26.4			

Membership-modul

Det sidste modul i *fuzzy*-analysen er *Membership*-modulet, der giver et mål for hvor mange typer, som er vurderet til at tilhøre den pågældende pixel og er dermed et bud på årsagen til usikkerheden for en kortlægningen af en given pixel. I Tabel C.17 er der vist eksempel på en *Membership*-analyse.

Tabel C.17 *Membership*-værdier for *fuzzy*-analyse eksempel.

Klasse	Lokaliteter	0			1			2			3			4		
		T	M	N	T	M	N	T	M	N	T	M	N	T	M	N
Type 1	94	0	0	0	41	35	6	49	26	23	4	1	3	0	0	0
Type 2	13	1	0	1	5	0	5	7	1	6	0	0	0	0	0	0
Type 3	12	0	0	0	9	9	0	2	1	1	0	0	0	1	0	1
Type 4	25	0	0	0	24	24	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
Total	144	1	0	1	79	68	11	59	29	30	4	1	3	1	0	1
% af Total		0.7	0.0	0.7	54.9	47.2	7.6	41.0	20.1	20.8	2.8	0.7	2.1	0.7	0.0	0.7

En type siges at tilhøre en pixel, hvis den har en *fuzzy*-værdi på 3 eller derover. For eksempel vil en lokalitet som har en *fuzzy*-værdi på 3 for en klasse, 4 for en anden og 1 eller 2 i resten have en *Membership*-værdi på 2. I tabellen med *Membership*-værdierne er hver gruppe af *Membership* opdelt i totale pixels af klassen i den pågældende gruppe (T), antal pixels som i *Max*-modulet er et *Match* (M) samt antal *Mismatches* (N). Tabellen kan blandt andet anvendes til at undersøge i hvilket miljø fejlene forekommer. Hvis de sker i homogene miljøer vil de lave *Membership*-grupper have et højt antal *Mismatches* og omvendt ved høje *Membership*-værdier, hvis fejlene sker i heterogene miljøer (mixels). For Type 1 i eksemplet ovenfor er der således 41 ud af 94 pixels som kun har en pixel med *fuzzy*-værdien 3 eller derover. Af disse er 35 pixels klassificeret perfekt og 6 er klassificeret med en *fuzzy*-værdi på 4 og derunder. For en perfekt klassificeret, homogen type vil alle pixels være i *Membership*-klasse 1 under *Total* og *Match*.

C.5 Resultater

I det følgende vil resultaterne for vegetationskortlægningen blive præsenteret. Disse inkluderer 1) spektralsignaturer og træningsklasser, 2) de færdige vegetationskort med usikkerhedsvurdering.

Kortlagte overfladetyper

Vegetationsanalyserne har sammen med analyse af satellitbilleder resulteret i nedenstående kortlagte vegetationstyper:

- Dværgbuskhede
- Lavholdig dværgbuskhede
- Krat
- Græsland
- Kær
- Steppe
- Opdyrket / frodig (kun Sydgrønland)
- Fjeldmark / Afbledningsflade
- Bar jord / klippe

Udover de nævnte vegetationstyper er følgende vegetationsløse overflader kortlagt:

- Snedække
- Vand
- Siltet vand (afløb fra gletscher)
- Skygger
- Skyer

Vegetationskortene på Data-CD

Vegetationskortene er i det følgende kun præsenteret ved et udsnit fra de pågældende hovedområder. Hele vegetationskortet findes på Data-CD'en som et JPEG billede i opløsning 1:2 og i CHIPS-format, så der kan foretages udskrift i fuld størrelse eller egne analyser af vegetationstypernes fordeling.

Følgende kapitel samt diskussion af usikkerheder i vegetationskortene (afsnit C.6.1.3) bør læses før kortene anvendes til yderligere analyser idet nogle områder på grund af topografi og skydække har en nedsat klassifikationsikkerhed.

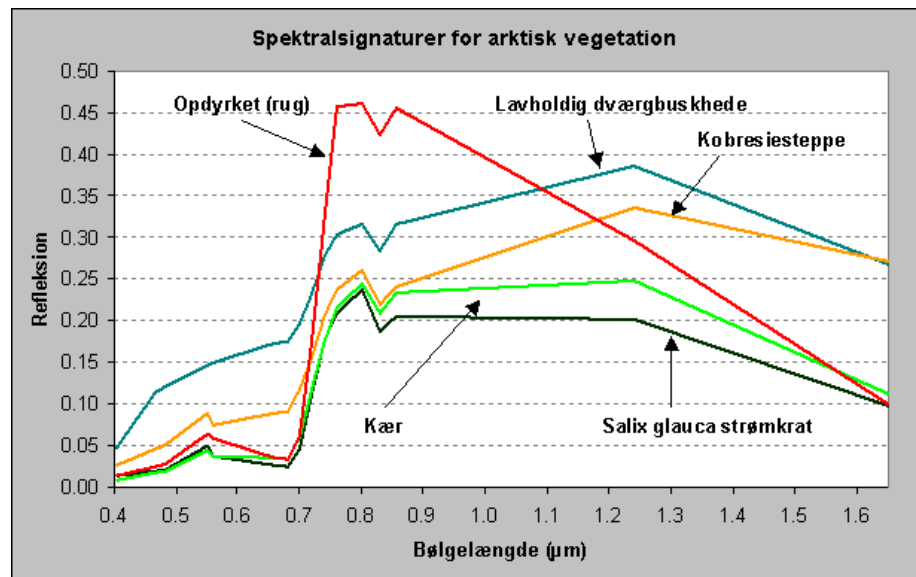
C.5.1 Spektralsignaturer

Som det blev beskrevet i afsnit C.3.1 er der indsamlet spektralsignaturer med et 16-kanals spektrometer i alle tre områder. Spektralsignaturerne er kalibrerede og samlet, så de enkelte typer er beskrevet ved et middel af mange spektralsignaturer for den pågældende type.

C.5.1.1 Spektralbibliotek

I Figur C.21 er vist to eksempler på typiske spektralsignaturer for de hver af de tre hovedområder. *Kobresie* og strømkvat fra Kangerlussuaq, lavdominerede dværgbuskheder fra Nuuk samt birkekrat og græsmark fra Sydgrønland. Det ses tydeligt hvordan opdyrkede afgrøder har et væsentligt større spring i refleksionen end naturligt forekommende vegetationstyper. Alle signaturer er beskrevet ved 16 bånd hvoraf de fem tilsvarende Landsat 5 TM bånd 1-5. Landsat TM bånd 4 er har en lavere spektral dækning (bredere bånd) end de omkringliggende, hvilket medfører det karakteristiske knæk i signaturerne

ved 0.83 Tm. Data på Data-CD'en findes i såvel ENVI- som ASCII-format, opdelt i tre biblioteker: Kangerlussuaq, Nuuk og Sydgrønland.



Figur C.21 Eksempler på spektralsignaturer fra det indsamlede spektralbibliotek. Hele datasættet samt kort beskrivelse af respektive overfladetyper kan findes på data-CD'en. Det markante knæk i spektralsignaturen ved 0.55 og 0.83 Tm er ikke udtryk for den korrekte spektralsignatur, men forårsaget af det bredere Landsat TM spektralbånd.

C.5.1.2 Spektralsignaturer og træningsklasser

For at anvende indsamlede spektralsignaturer skal disse repræsentere den spektrale sammensætning for en given overfladetype i satellitbilledet. På baggrund af alle de indsamlede data, dels de fem første TM bånd fra spektroradiometret og dels refleksionen fra satellitbilledet ved de botaniske analyser, er der foretaget en F- og t-test af henholdsvis standardafvigelse og middel for vegetationstyperne baseret på TM og MSR signaturer i de tre områder. I Tabel C.18 og Tabel C.19 er resultatet af analysen for henholdsvis dværgbuskhede i Nuukområdet og kær i Kangerlussuaqområdet vist. Resultattabeller for de andre vegetationstyper i de tre hovedområder kan findes i appendiks H.7.

Tabel C.18 viser et eksempel på test af sammenhængen mellem standardafvigelse og middelværdi for de to datasæt af træningsklasser for dværgbuskhede i Nuukområdet. Spektralsignaturerne har den største standardafvigelse og det kan fra nederste del af tabellen ses at kun spredningen i TM5 er statistisk ens. For analysen af middelværdierne viser resultatet at kun TM2 kan sammenlignes mens de resterende er signifikant forskellige.

Tabel C.18 Resultat af F- og t-test for henholdsvis spektralsignaturer og satellitbilledets spektrale sammensætning for dværgbushede-områderne i Nuuk hovedområde

Nuuk		TM-signaturer					MSR-signaturer				
		TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5
Dværgbushede	Min.	1	3	3	23	15	2	3	3	12	9
	Max.	7	8	10	44	31	8	11	11	35	29
	Mean	2.85	5.21	5.79	28.03	23.94	3.23	5.16	5.25	20.49	18.19
	Var.	0.71	1.02	1.50	10.45	17.41	2.08	2.51	3.45	20.04	20.20
	Std. Dev.	0.85	1.01	1.22	3.23	4.17	1.44	1.58	1.86	4.48	4.49
	n	242	242	242	242	242	263	263	263	263	263
: Største SD											

		F-test (0.05-niveau)					t-test (0.05-niveau)					
		TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	
Dværgbushede	F-værdi	2.911	2.457	2.303	1.919	1.161	t-værdi	-3.63	0.45	3.84	21.81	14.90
	f ₁	263	263	263	263	263	c-værdi	1.966	1.965	1.965	1.964	1.965
	f ₂	242	242	242	242	242	Frihedsgrad ¹	429	449	457	477	503
	c-værdi	1.174	1.174	1.174	1.174	1.174	Forkastes M ₁ =M ₂ ?	Ja	Nej	Ja	Ja	Ja
	Forkastes SD ₁ =SD ₂ ?	Ja	Ja	Ja	Ja	Nej						
: Spredningen for de to metoder er IKKE ens												
: Spredningen for de to metoder ER ens												
: Middelværdien for de to metoder er IKKE ens												
: Middelværdien for de to metoder ER ens												

¹ Hvor spredningen ikke er ens, er frihedsværdien for t-test beregnet efter Welch i Zar (1999)

Tabel C.19 Resultat af F- og t-test for henholdsvis spektralsignaturer og satellitbilledets spektrale sammensætning for kærømråderne i Kangerlussuaq hovedområde

Kangerlussuaq		TM-signaturer					MSR-signaturer				
		TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5
Kær	Min.	2	5	5	18	24	1	3	3	13	7
	Max.	8	10	13	34	40	4	7	8	31	24
	Mean	3.73	6.14	7.50	24.23	29.23	2.58	4.36	4.52	21.59	14.54
	Var.	4.34	2.87	7.32	24.97	28.70	0.74	1.57	1.98	22.95	22.05
	Std. Dev.	2.08	1.69	2.71	5.00	5.36	0.86	1.25	1.41	4.79	4.70
	n	11	11	11	11	11	96	96	96	96	96
: Største SD											

		F-test (0.05-niveau)					t-test (0.05-niveau)					
		TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	
Kær	F-værdi	5.898	0.546	3.702	1.088	1.302	t-værdi	1.82	3.37	3.60	1.67	8.72
	f ₁	11	11	11	11	11	c-værdi	2.228	1.9835	2.201	1.9835	1.9835
	f ₂	96	96	96	96	96	Frihedsgrad ¹	10	105	11	105	105
	c-værdi	1.895	1.895	1.895	1.895	1.895	Forkastes M ₁ =M ₂ ?	Nej	Ja	Ja	Nej	Ja
	Forkastes SD ₁ =SD ₂ ?	Ja	Nej	Ja	Nej	Nej						
: Spredningen for de to metoder er IKKE ens												
: Spredningen for de to metoder ER ens												
: Middelværdien for de to metoder er IKKE ens												
: Middelværdien for de to metoder ER ens												

¹ Hvor spredningen ikke er ens, er frihedsværdien for t-test beregnet efter Welch i Zar (1999)

Den øverste del af Tabel C.19 viser den basale statistik for alle data for kærømråderne. Datatypen med den højeste standardafvigelse for hvert af de første 5 Landsat TM bånd er fremhævet med gul (anvendes i F-testen). Som det kan ses af den øverste del af tabellen er middelværdien (*mean*) og standardafvigelsen (*Std.Dev.*) i de enkelte bånd ikke identiske for de to datatyper. Med en

F- og en t-test kan det testes, om de to datatyper er signifikant forskellige (Zar, 1999).

F-test

F-testen er foretaget på 0.05% niveau, og resultatet viser at for kærømråderne i Kangerlussuaqområdet er det kun TM2, TM4 og TM5, hvor det ikke kan forkastes at standardafvigelsen er ens. For TM1 og TM3 er standardafvigelsen ikke ens. Få af de analyserede vegetationstyper i de tre hovedområder havde ens standardafvigelser og kun græslandstypen i Kangerlussuaqområdet havde ens standardafvigelse i alle fem TM bånd (Appendiks H.7). For flere vegetationstyper var der i ingen eller kun et af båndene at standardafvigelserne kunne sammenlignes (f.eks. dværgbuskhede, fjeldmark og krat i Kangerlussuaq- og Nuukområdet og græsland og kærtyperne i Sydgrønland).

t-test

Middelværdierne er ligeledes testet på 0.05% niveau. Denne test kan kun foretages for datasæt, hvor data er tilfældigt udvalgt af to normalfordelte populationer med lige store standardafvigelser (Zar, 1999). Welch (i Zar, 1999) udviklede en metode til anvendelse for datasæt, som ikke havde ens standardafvigelse. Denne metode (*Welch's approximate t*) er anvendt for de tilfælde hvor standardafvigelsen ved F-testen viste at de ikke var ens. For kærømråderne i Kangerlussuaqområdet er det kun TM1 og TM4 hvor hypotesen, om at middelværdierne er lige store, ikke kan forkastes. Som det fremgår af tabellerne i Appendiks H.7 kan meget få af middelværdierne for vegetationstyperne fra de to datasæt sammenlignes. Kun kærømråderne ved Nuuk har ens middelværdier for alle Landsat TM bånd (spredningen for T1, TM4 og TM5 kan derimod ikke sammenlignes).

Årsagerne til at spektralsignaturerne og refleksionen fra satellitbilledet ikke er direkte sammenlignelige er diskuteret nærmere i afsnit C.6.1.1. Som resultat af denne analyse er spektralsignaturerne ikke anvendt som træningsklasser for vegetationskortlægningen, men istedet kun til analysen af refleksionen fra de botaniske analysefelter. Som træningsklasser er istedet anvendt områder i satellitbillederne, hvor overfladetyper gennem feltarbejdet er kendt.

C.5.2 Vegetationskortlægning ved Kangerlussuaq

I Figur C.22 er et udsnit af det endelige vegetationskort for Kangerlussuaqområdet vist. Billedet er som tidligere nævnt opbygget af to Landsat 5 TM billeder, hvilket kan erkendes ved grænsen imellem de to billeder, som er synlig i en sydvest-nordøst gående retning i kortets sydøstlige del. I den nordvestlige del af kortet ved Nordre Strømfjord dækker et skydække det anvendte billede og kortlægning i dette område har derfor ikke været muligt.

C.5.2.1 Fordeling af vegetationstyperne

Arealfordelingen af vegetationstyperne i Kangerlussuaqområdet er vist i Tabel C.20. Fordelingen af alle overfladetyper er listet i Appendiks H.8.1.

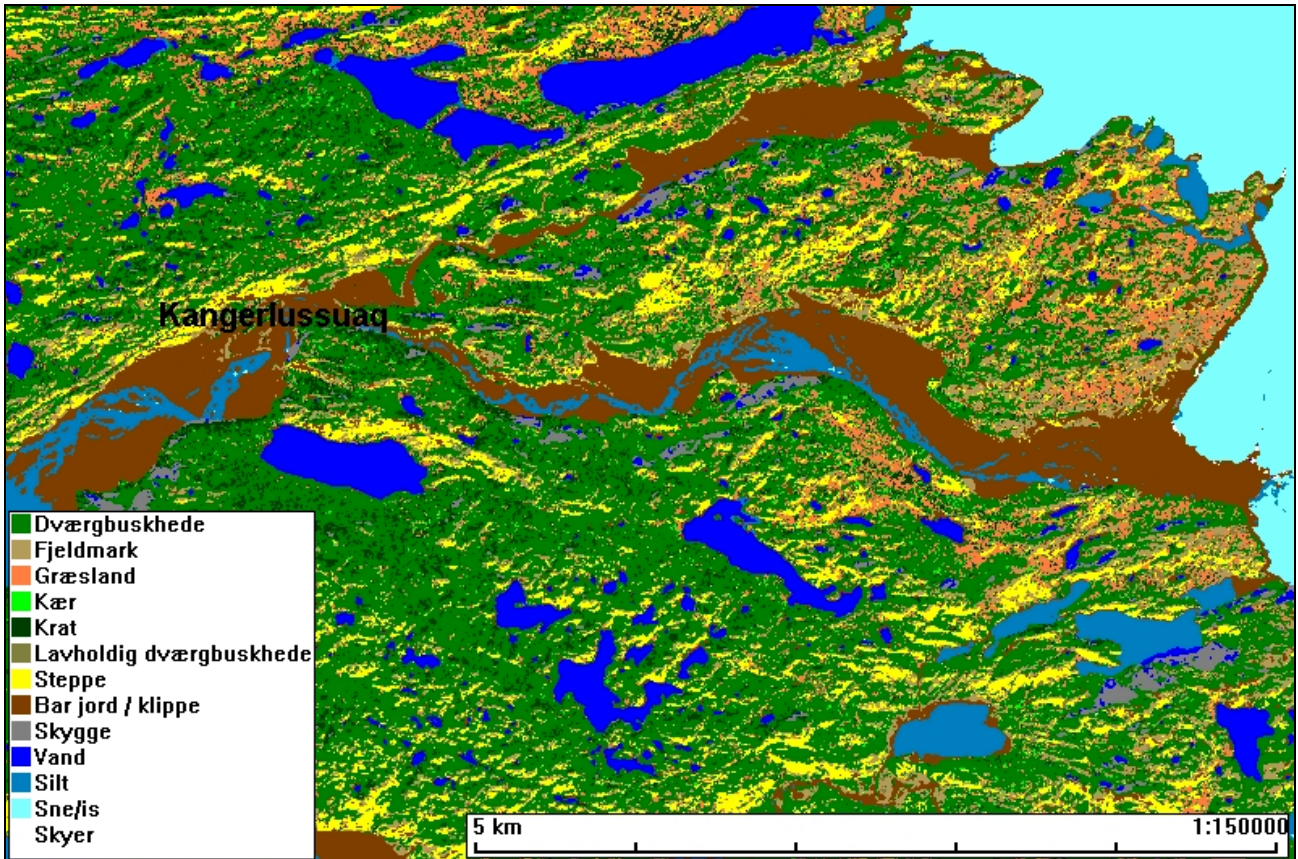
Tabel C.20 Arealfordeling af vegetationstyperne i hele Kangerlussuaqområdet. Procent dækning af alle vegetationstyper udgør 55.8%.

Vegetationstype	Areal (km ²) [†]	Dækning i % af alle vegetationstyper
Krat	1387	9.2
Dværgbuskhede	8196	54.3
Lavholdig dværgbuskhede	434	2.9
Kær	315	2.1

Græsland	1102	7.3
Steppe	1323	8.7
Fjeldmark	2347	15.5

† Hele det kortlagte areal dækker 27048 km², hvoraf de 11944 km² er dækket af vegetationsløse overflader eller vand. 56% af det samlede areal er således vegetationsdækket

Dværgbuskhede dækker hele 54.3% af de vegetationsdækkede flader i Kangerlussuaqområdet, hvor den 2. mest udbredte type er fjeldmark. Resten af kategorierne fordeler sig fra 2.1% til 9.2% og udgør således kun lige over 30% af de vegetationsdækkede arealer.



Figur C.22 Udsnit af det endelige vegetationskort for Kangerlussuaqområdet. Det viste udsnit er lige ved Kangerlussuaq lufthavn. Farverne er forklaret ved legenden i nedre venstre hjørne af figuren.

C.5.2.2 Usikkerhedsvurdering

Nedenstående Tabel C.21 viser *confusion matrix* for vegetationskortet for Kangerlussuaq.

Tabel C.21 *Confusion matrix* for Kangerlussuaqområdet.

		Felt											Map total	Users accuracy
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Kort		Dværgbuskhede	Fjeldmark	Græsland	Kær	Krat	Lavholdig dværgbuskhede	Steppe	Bar jord	Skygge	Vand	Siltet vand		
	0	Dværgbuskhede	73	9	5	1	2		2			2	94	77.7
	1	Fjeldmark		5					1				6	83.3
	2	Græsland	11		2								13	15.4
	3	Kær	2			1							3	33.3
	4	Krat	3										3	0.0
	5	Lavholdig dværgbuskhede	1										1	0.0
	6	Steppe	1				1		4				6	66.7
	7	Bar jord	1							11			12	91.7
	8	Skygge									1		1	100.0
	9	Vand										25	25	100.0
	10	Siltet vand											12	100.0
Ground total		92	14	7	2	3	0	7	11	1	27	176		
Producers accuracy:		79.3	35.7	28.6	50.0	0.0	0.0	57.1	100.0	100.0	92.6	100.0		

På baggrund af ovenstående *confusion matrix* er der udregnet:

Overordnet usikkerhed (P): 76.1%

∴ koefficient: 74.4% (67.6% – 81.2% ved 95% konfidens-niveau)

I tabellen kan endvidere ses usikkerhederne for de enkelte klasser angivet ved såvel *users* som *producers accuracy*. Nogle af klasserne er kortlagt relativt godt med en score på 100%, mens andre klasser har alle punkter fejlklassificeret. I afsnit C.6.1.3 vil betydningen af de varierende usikkerheder diskuteres nærmere.

På baggrund af *fuzzy*-analysen er følgende tre tabeller anvendt til nærmere analyse af usikkerheden i vegetationskortet fra Kangerlussuaq. Tabellerne indeholder beregninger med *Max* og *Right*-metoden, *Difference*-metoden samt *Membership*-metoden. Tilsammen udgør de grundlaget for diskussionen i afsnit C.6.1.3 omkring fordelingen og usikkerheden af vegetationsklasserne.

Tabel C.22 *Max* og *Right* tabel for Kangerlussuaq vegetationskortet. Tal i kursiv er procent af de samlede lokaliteter.

Klasse	Lokaliteter	Max (M) - Bedste svar				Right (R) - Rigtigt				Forbedring (R-M)	
		Matches	Mismatches			Matches	Mismatches				
Dværgbuskhede	94	62	66.0	32	34.0	80	85.1	14	14.9	18	19.1
Fjeldmark	6	5	83.3	1	16.7	5	83.3	1	16.7	0	0.0
Græsland	13	1	7.7	12	92.3	3	23.1	10	76.9	2	15.4
Kær	3	1	33.3	2	66.7	1	33.3	2	66.7	0	0.0
Krat	3	0	0.0	3	100.0	0	0.0	3	100.0	0	0.0
Lavholdig dværgbuskhede	1	0	0.0	1	100.0	0	0.0	1	100.0	0	0.0
Steppe	6	2	33.3	4	66.7	4	66.7	2	33.3	2	33.3
Bar jord	12	10	83.3	2	16.7	12	100.0	0	0.0	2	16.7
Skygge	1	1	100.0	0	0.0	1	100.0	0	0.0	0	0.0
Vand	25	25	100.0	0	0.0	25	100.0	0	0.0	0	0.0
Siltet vand	12	12	100.0	0	0.0	12	100.0	0	0.0	0	0.0
Total	176	119	67.6	57	32.4	143	81.3	33	18.8	24	13.6

For det generelle billede af vegetationskortet ses i Tabel C.22 at 67.6% af klasserne er korrekt klassificeret efter den konservative *Max*-funktion. Hvis man i stedet vælger at anvende den mere brede *Right*-funktion stiger andelen af korrekt klassificerede pixels med 13.6% til 81.3%. Som i *confusion matrix*-tabellen kan de enkelte klassers usikkerhed ses i denne tabel. Nogle har meget lav sikkerhed (under 30% rigtig), men falder sammen med at der er meget få *sample sites* for disse klasser (under 15 *sample sites*). 7 af de 11 klasser har ingen forbedring ved anvendelsen af *Right*-funktionen fremfor *Max*-funktionen og er altså ikke umiddelbart afhængigt af antal *sample sites*.

Tabel C.23 viser resultatet af beregningerne fra *Difference*-metoden og er altså et udtryk for hvor meget *fuzzy*-værdierne i de andre klasser afviger fra den kortlagte klasse.

Værdierne fra *Difference*-metoden går fra -4 for en totalt fejlklassificeret pixel til +4 for en perfekt klassificeret pixel. Ind imellem ligger værdierne som antyder grader af dels fejlklassificering og dels tilstedeværelsen af mixels i kortet. I alt ligger 11.9% af de analyserede pixels med en *Difference*-værdi på -4 og -3 og ligger dermed udenfor gruppen, som inkluderer pixels med *fuzzy*-værdien 3 (Rimeligt svar). Total er 75.1% placeret i gruppen med *Matches* (0 - +4).

Tabel C.23 Beregninger fra *Difference*-metoden for vegetationskortlægningen i Kangerlussuaqområdet.

Klasse	Lokaliteter	Mismatches				Matches					Beregnet middel af Mismatches	Beregnet middel af Matches
		-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4		
Dværgbuskhede	94	5	4	5	9	9	14	26	13	9	-2.22	1.99
Fjeldmark	6	0	1	0	0	0	1	1	0	3	-3.00	3.00
Græsland	13	0	6	3	2	1	1	0	0	0	-2.36	0.50
Kær	3	1	0	1	0	0	0	1	0	0	-3.00	2.00
Krat	3	1	1	1	0	0	0	0	0	0	-3.00	0.00
Lavholdig dværgbuskhede	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	-3.00	0.00
Steppe	6	1	0	1	0	2	2	0	0	0	-3.00	0.50
Bar jord	12	0	0	0	1	1	1	0	4	5	-1.00	3.00
Skygge	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.00	4.00
Vand	25	0	0	0	0	0	1	0	0	24	0.00	3.88
Siltet vand	12	0	0	0	0	0	0	0	0	12	0.00	4.00
Total	176	8	13	11	12	13	20	28	17	54	-2.39	2.60
% af Total		4.5	7.4	6.3	6.8	7.4	11.4	15.9	9.7	30.7		

Membership-metoden er beregnet for at undersøge graden af homogenitet i de pixels, hvor de værste fejl forekommer. Resultatet af denne beregning er vist i Tabel C.24.

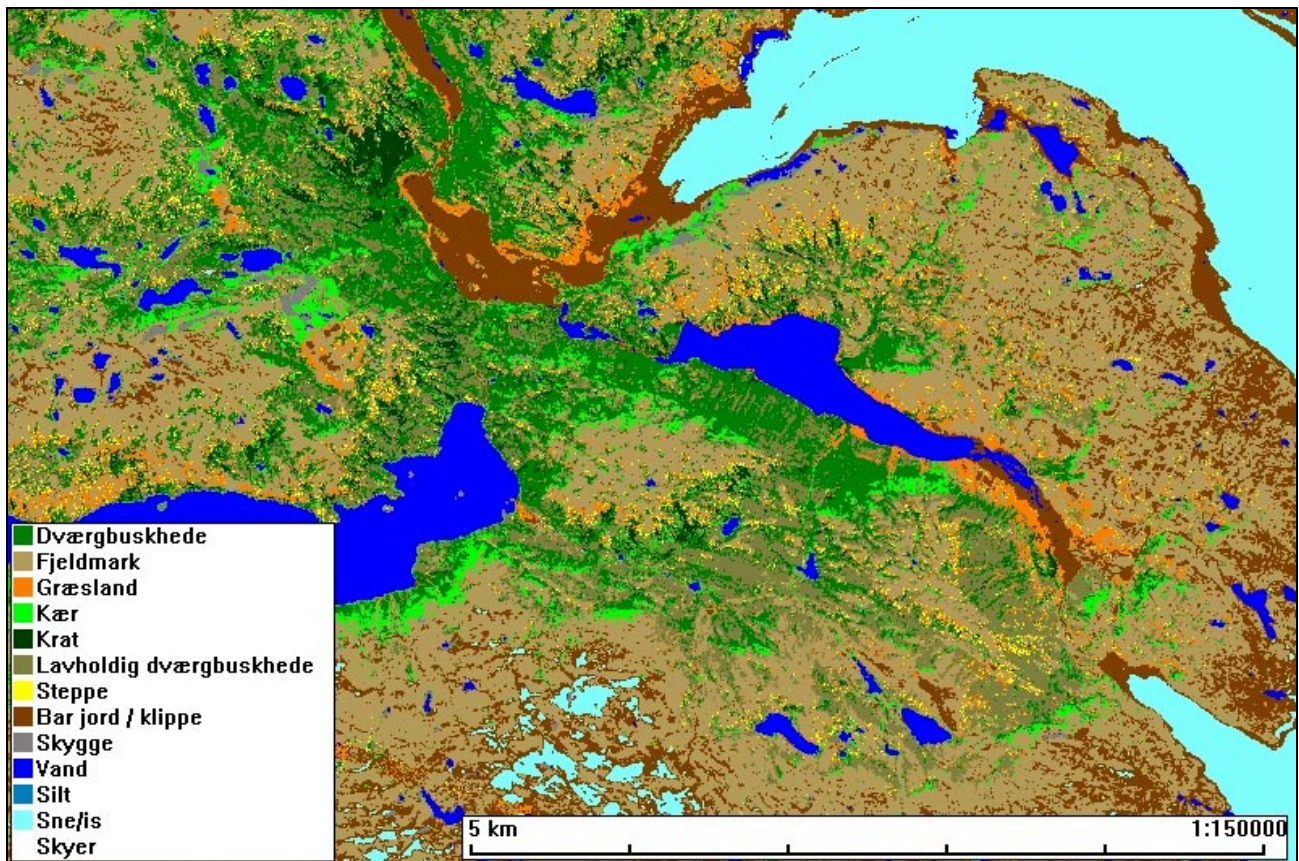
Generelt fordeler hovedparten af pixels (96%) sig i kategorierne med *Membership*-værdier på 1 og 2. Jo mindre en *Membership*-værdi en pixel har des nemmere er den at kategorisere. Jo flere klasser en pixel kan tilhøre desto sværere bliver det at give den en fast kategori (klasse). Kun 3.4% af de analyserede pixels havde tilhørsforhold fra 3 eller 4 klasser. Væsentligt er det dog at hele 39.2% tegner sig for pixels, hvor 2 klasser har tilhørsforhold og er dermed et udtryk for mixels med to klasser repræsenteret. Hvor stor en grad af pixelen, som tilfalder hver klasse kan ikke bestemmes. Ved sammenligning med resultaterne fra *Max* og *Right*-metoden samt *Difference*-værdierne kan det dog ses, hvilke klasser, som typisk misfortolkes, og kan være udtryk for overgangszone eller mixels af de to typer.

Tabel C.24 Resultatet af *Membership* beregningerne for usikkerhedsvurderingen af vegetationskortet fra Kangerlussuaqområdet.

Klasse	Lokaliteter	0			1			2			3			4		
		T	M	N	T	M	N	T	M	N	T	M	N	T	M	N
Dværgbuskhede	94	0	0	0	41	35	6	49	26	23	4	1	3	0	0	0
Fjeldmark	6	0	0	0	3	3	0	3	2	1	0	0	0	0	0	0
Græsland	13	1	0	1	5	0	5	7	1	6	0	0	0	0	0	0
Kær	3	0	0	0	1	0	1	2	1	1	0	0	0	0	0	0
Krat	3	0	0	0	3	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Lavholdig dværgbuskhede	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
Steppe	6	0	0	0	1	0	1	4	2	2	1	0	1	0	0	0
Bar jord	12	0	0	0	9	9	0	2	1	1	0	0	0	1	0	1
Skygge	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Vand	25	0	0	0	24	24	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
Siltet vand	12	0	0	0	12	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	176	1	0	1	100	84	16	69	34	35	5	1	4	1	0	1
% af Total		0.6	0.0	0.6	56.8	47.7	9.1	39.2	19.3	19.9	2.8	0.6	2.3	0.6	0.0	0.6

C.5.3 Vegetationskortlægning ved Nuuk

Den endelige vegetationskortlægning for Nuukområdet er præsenteret ved et udsnit i Figur C.23 samt i helhed på den vedlagte data-CD.



Figur C.23 Udsnit fra det sydøstlige hjørne af vegetationskortet fra Nuukområdet.

Ved kortlægningen af Nuukområdet er for hovedparten af området anvendt Landsat 5 TM fra 20. juli 1993. For den nordlige del af kortet er anvendt et tilsvarende billede fra 1. juli 1995. Grænsen mellem de to kan ikke umiddelbart erkendes, idet de to billeder er fra samme cirka samme tidspunkt af vækstsæsonen. Der er ikke skydække af nævneværdig grad på billedet, men grundet de store topografiske forskelligheder i området er der en del skyggeområder.

C.5.3.1 Fordeling af vegetationstyperne

I Tabel C.25 er den procentvise arealmæssige fordeling af vegetationstyperne i Nuukområdet vist. Fordelingen af alle typer, inklusiv de vegetationsløse, er vist i appendiks H.8.2.

Tabel C.25 Arealfordeling af vegetationstyperne i hele Nuukområdet. Procent dækning af alle vegetationsdækkede områder udgør 51%.

Vegetationstype	Areal (km ²) [†]	Dækning i % af alle vegetationstyper
Krat	263	2.1
Dværgbuskhede	1679	13.5
Lavholdig dværgbuskhede	2511	20.2
Kær	1162	9.3
Græsland	477	3.8
Steppe	409	3.3
Fjeldmark	5958	47.8

[†] Hele det kortlagte areal dækker 24435 km², hvoraf de 11976 km² er dækket af vegetationsløse overflader eller vand.

I Nuukområdet er fjeldmark den mest udbredte vegetationstype. Den dækker med 47.8% næsten halvdelen af de vegetationsdækkede områder. De næste i rækken er lavholdig dværgbuskhede og dværgbuskhede. Lavholdig dværgbuskhede og dværgbuskhede er som det også kunne ses i de ovenstående tabeller, svære at adskille, idet overgangen imellem de to er flydende.

C.5.3.2 Usikkerhedsvurdering

Confusion matrix er også genereret for Nuukområdet idet feltarbejde med henblik på usikkerhedsvurdering blev foretaget i sommeren 1999. Resultatet er vist i Tabel C.26.

Tabel C.26 Confusion matrix for vegetationskortlægningen i Nuukområdet.

Kort		Felt										Kort total	User's accuracy
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
		Dværgbuskhede	Fjeldmark	Græsland	Kær	Krat	Lavholdig dværgbuskhede	Steppe	Bar jord	Skygge	Vand		
0	Dværgbuskhede	85			11	7	1	1			1	106	80.2
1	Fjeldmark	5	17			1	4		3		2	32	53.1
2	Græsland					1						1	0.0
3	Kær	6	1		5		2			1		15	33.3
4	Krat	18			1	13						32	40.6
5	Lavholdig dværgbuskhede	31		3	1		11		2			48	22.9
6	Steppe	1										1	0.0
7	Bar jord	1							1			2	50.0
8	Skygge											0	0.0
9	Vand										4	4	100.0
Felt total		147	18	3	18	22	18	1	6	1	7	241	
Producer's accuracy:		57.8	94.4	0.0	27.8	59.1	61.1	0.0	16.7	0.0	57.1		

Som i Kangerlussuaqområdet er der også her beregnet generelle usikkerheder repræsenteret ved:

Overordnet usikkerhed (P): 56.4%
 ∴: 52.1% (45.3% - 58.9% ved 95% konfidensinterval)

Sikkerheden ved vegetationskortet er her meget lav med kun omkring halvdelen af kortet angivet til at være korrekt klassificeret. Ved beregning af users og producers accuracy er der også kun i et tilfælde at en klasse er

100% korrekt klassificeret. Specielt klasserne buskhede, krat og lavhede har problemer ved adskillelsen.

For en videre analyse af usikkerhederne er *fuzzy*-analyserne anvendt og i nedenstående Tabel C.27 er resultatet af *Max* og *Right*-beregningerne vist.

Tabel C.27 *Max* og *Right* beregninger på vegetationskortet i Nuukområdet. Tal i kursiv er procent af de samlede lokaliteter.

Klasse	Lokaliteter	Max (M) - Bedste svar				Right (R) - Rigtigt				Forbedring (R-M)	
		Matches		Mismatches		Matches		Mismatches			
Dværgbuskhede	106	73	68.9	33	31.1	92	86.8	14	13.2	19	17.9
Fjeldmark	32	11	34.4	21	65.6	24	75.0	8	25.0	13	40.6
Græsland	1	0	0.0	1	100.0	0	0.0	1	100.0	0	0.0
Kær	15	4	26.7	11	73.3	6	40.0	9	60.0	2	13.3
Krat	32	12	37.5	20	62.5	24	75.0	8	25.0	12	37.5
Lavholdig dværgbuskhede	48	13	27.1	35	72.9	30	62.5	18	37.5	17	35.4
Steppe	1	0	0.0	1	100.0	0	0.0	1	100.0	0	0.0
Bar jord	2	1	50.0	1	50.0	1	50.0	1	50.0	0	0.0
Skygge	0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
Vand	4	4	100.0	0	0.0	4	100.0	0	0.0	0	0.0
Siltet vand	0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
Total	241	118	49.0	123	51.0	181	75.1	60	24.9	63	26.1

Kun 4 af de 11 klasser, som data er indsamlet for, er repræsenteret ved mere end 30 pixels. Resten er nede omkring et par lokaliteter per klasse og derfor groft underrepræsenteret. For klasserne med de vegetationsløse områder er problemet ikke så stort, men for steppe og græsland medfører det store usikkerheder i beregningerne. Ved at betragte kortlægningen generelt ses der dog en klar forbedring af klassifikationsresultatet når det vurderes på basis af den brede *Right*-funktion i forhold til den mere konservative *Max*-funktion. Således er der fra 49% ved anvendelsen af *Max* til 75.1% ved anvendelsen af *Right* sket en 26.1% stigning i sikkerhed af kortlægningen. På klasseniveau ses både græsland og steppe at have 0% i sikkerhed. Dette kan dog ikke tillægges nogen betydning på grund af den statistiske usikkerhed i så småt et datagrundlag. De fire klasser, som er repræsenteret ved over 30 punkter og derfor burde have et godt statistisk grundlag, har alle over 60% i sikkerhed ved anvendelsen af *Right*. Ved anvendelsen af *Max* ligger de dog nede omkring 30%.

Difference-metoden er beregnet og resultatet vist i Tabel C.28.

Tabel C.28 Resultatet af *Difference*-beregningerne på vegetationskortlægningen i Nuukområdet.

Klasse	Lokaliteter	Mismatches				Matches					Beregnet middel af Mismatches	Beregnet middel af Matches
		-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4		
Dværgbuskhede	106	3	3	7	10	10	15	23	22	13	-1.96	2.16
Fjeldmark	32	3	1	2	6	9	3	1	2	5	-2.08	1.55
Græsland	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	-3.00	0.00
Kær	15	2	7	0	1	1	2	1	0	1	-3.00	1.60
Krat	32	0	3	5	7	5	2	0	1	9	-1.73	2.41
Lavholdig dværgbuskhede	48	1	8	8	9	9	6	3	0	4	-2.04	1.27
Steppe	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	-3.00	0.00
Bar jord	2	0	0	1	0	0	1	0	0	0	-2.00	1.00
Skygge	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00
Vand	4	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0.00	4.00
Siltet vand	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00
Total	241	9	24	23	33	34	29	28	25	36	-2.10	2.00
% af Total		3.7	10.0	9.5	13.7	14.1	12.0	11.6	10.4	14.9		

For Nuukområdet ligger 13.7% af de analyserede pixels med *Difference*-værdier på -4 og -3 og 63% af de analyserede pixels har *fuzzy*-værdier, som

er samme størrelse eller større end værdierne for de andre klasser. I de beregnede middel af *Matches* er det igen klasserne, som er repræsenteret ved få pixels der har de lave værdier. Generelt tvinger det også den samlede sikkerhed ned, som det kan ses af den generelle værdi for det beregnede middel af *Matches*.

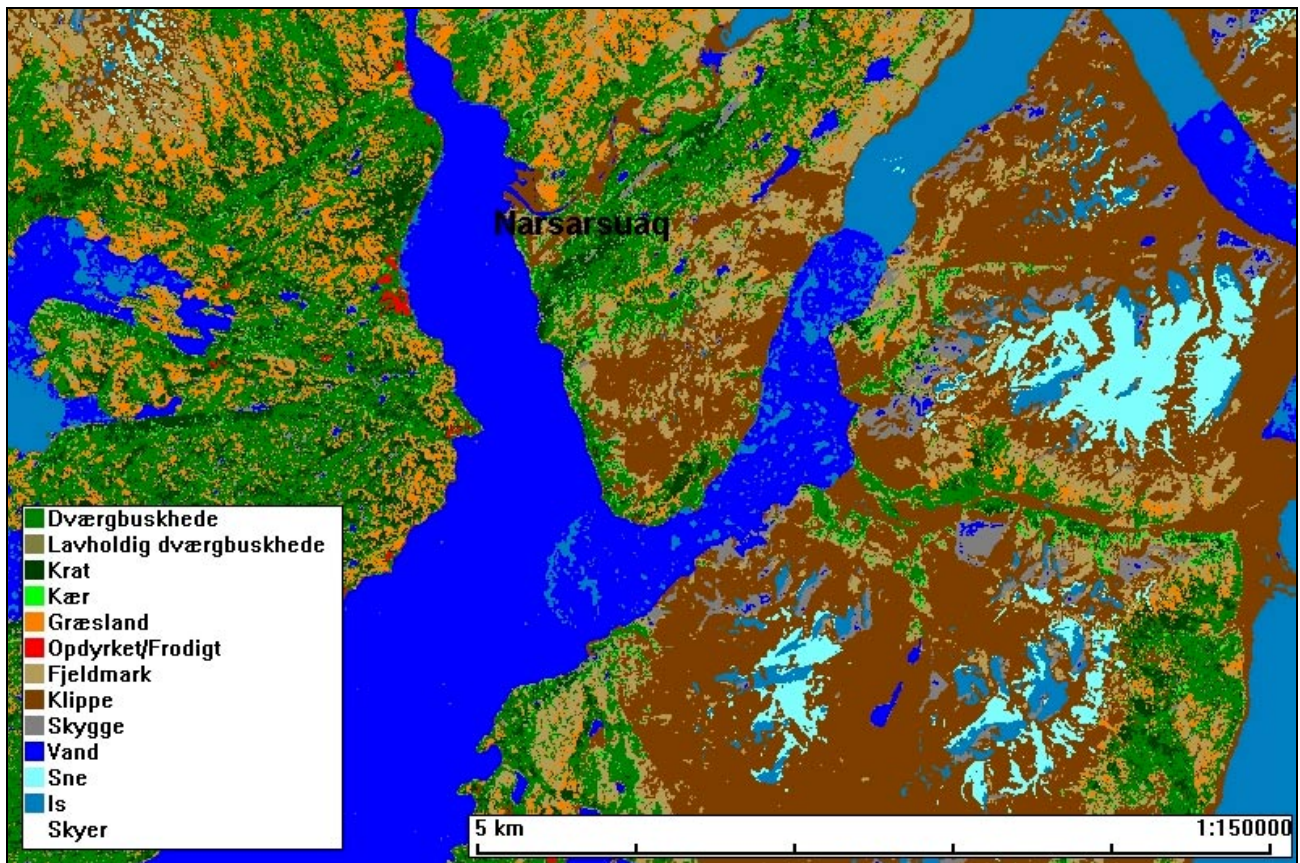
Tabel C.29 Membership-beregning for vegetationskortet i Nuukområdet.

Klasse	Lokaliteter	0			1			2			3			4		
		T	M	N	T	M	N	T	M	N	T	M	N	T	M	N
Dværgbuskhede	106	0	0	0	58	49	9	42	24	18	6	0	6	0	0	0
Fjeldmark	32	0	0	0	14	7	7	18	4	14	0	0	0	0	0	0
Græsland	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
Kær	15	0	0	0	7	2	5	8	2	6	0	0	0	0	0	0
Krat	32	0	0	0	18	11	7	14	1	13	0	0	0	0	0	0
Lavholdig dværgbuskhede	48	0	0	0	17	6	11	25	7	18	6	0	6	0	0	0
Steppe	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
Bar jord	2	0	0	0	0	0	0	2	1	1	0	0	0	0	0	0
Skygge	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Vand	4	0	0	0	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Siltet vand	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	241	0	0	0	118	79	39	111	39	72	12	0	12	0	0	0
% af Total		0.0	0.0	0.0	49.0	32.8	16.2	46.1	16.2	29.9	5.0	0.0	5.0	0.0	0.0	0.0

I Tabel C.29 er resultatet af beregningerne fra *Membership*-metoden vist. Som i Kangerlussuaqområdet har størstedelen, 95.1% af de analyserede områder tilhørsforhold fra en eller to vegetationsklasser. Mixels med tilhørsforhold fra 2 klasser udgør dog 46.1% af de samlede pixels og påviser dermed at en stor andel af området består af mixels. Samtidig kan det erkendes fra tabellen at jo flere tilhørsforhold en pixel har, desto større er andelen af *Mismatches* (N). Således er næsten dobbelt så mange af de analyserede pixels *Mismatches* i forhold til *Matches* i gruppen med to tilhørsforhold. I gruppen med kun ét tilhørsforhold er det omvendt.

C.5.4 Vegetationskortlægning ved Sydgrønland

Kortlægningen i Sydgrønland har i modsætning til de to ovenfor præsenterede områder inkluderet en vegetationstype ekstra, Opdyrket / Kraftig vegetation, idet fåreholderstederne og tidligere Nordbo bopladser har meget frodige græslandsarealer. Specielt på de fungerende fåreholdersteder, hvor der dyrkes fodergræs er dette tilfældet. Et udsnit af vegetationskortet for Sydgrønland kan ses i Figur C.24.



Figur C.24 Udsnit af vegetationskortet fra Sydgrønland. Udsnittet er fra området omkring Narsarsuaq.

C.5.4.1 Fordeling af vegetationstyperne

Arealfordelingen af vegetationstyperne i Sydgrønland er vist i Tabel C.30. Fordelingen af alle typerne kan findes i appendiks H.8.

I Sydgrønland dækker dværgbuskhede og fjeldmark stort set lige store arealer og udgør tilsammen næsten $\frac{3}{4}$ af det samlede vegetationsdække. Græsland og krat følger efter mens opdyrket og meget frodige arealer, som den mindst dækkende type med kun 0.1% dækning.

Tabel C.30 Arealfordeling af vegetationstyperne i hele Sydgrønland. Procent dækning af alle vegetationstyper udgør 23.5%.

Vegetationstype	Areal (km ²) [†]	Dækning i % af alle vegetationstyper
Krat	667	11.6
Dværgbuskhede	1962	34.2
Lavholdig dværgbuskhede	56	1
Kær	174	3
Græsland	897	15.6
Opdyrket	8	0.1
Fjeldmark	1973	34.4

[†] Hele det kortlagte areal dækker 24448 km², hvoraf de 18711 km² er dækket af vegetationsløse overflader eller vand.

C.5.4.2 Usikkerhedsvurdering

Idet det ikke har været logistisk muligt at gennemføre feltarbejde til usikkerhedsvurdering af kortet i Sydgrønland, er der foretaget en beregning af con-

fusion matrix baseret på de samme data, som kortet er kortlagt efter, se Tabel C.31.

Tabel C.31 Confusion matrix for vegetationskortet i Sydgrønland. *BEMÆRK!! Beregnet på grundlag af træningsdata og dermed ikke uafhængig af disse (se teksten).*

		Felt						Felt total	User's accuracy		
		0	1	2	3	4	5			6	
Kort		Dværgbuskhede	Fjeldmark	Græsland	Kær	Krat	Lavholdig dværgbuskhede	Opdyrket			
	0	Dværgbuskhede	50				1		4	55	90.9
	1	Fjeldmark	1	81		1				83	97.6
	2	Græsland			18					18	100.0
	3	Kær	5	1		5	1			12	41.7
	4	Krat	5				29			34	85.3
	5	Lavholdig dværgbuskhede						14		14	100.0
6	Opdyrket							217	217	100.0	
Felt total		61	82	18	6	31	18	217	433		
Producer's accuracy:		82.0	98.8	100.0	83.3	93.5	77.8	100.0			

Den viste tabel er beregnet på baggrund af de samme data i rækker som i kolonner. Efter at billedmaterialet er blevet klassificeret på baggrund af træningsdata fra feltarbejdet er disse træningsdata igen anvendt til at vurdere usikkerheden. Dette er ikke normal praksis idet usikkerhedsvurderingen bør foretages på data som er uafhængige af træningsdata. Dette er ikke tilfældet for denne usikkerhedsvurdering, idet uafhængige data ikke var til rådighed. Resultatet er at sikkerheden af kortlægningen overvurderes og skal derfor ikke tillægges for stor betydning.

Reelt beskriver Tabel C.31 kun hvor godt træningsdataene kan adskilles og ikke hvor god klassifikationen er. I praksis kan en høj sikkerhed dog give et fingerpeg om at klassifikationen er reklassificerbar, men ikke i hvor høj grad den er systematiske fejl. De udregnede sikkerheder er som følger:

Overordnet usikkerhed (P): 95.6%
 ∴: 95.2% (93.1% - 97.3% ved 95% konfidensinterval)

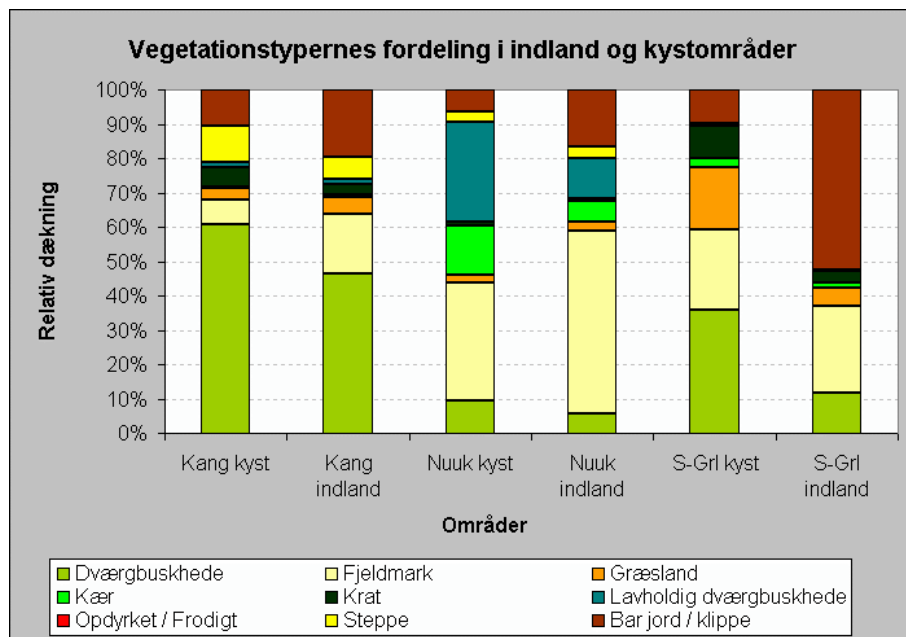
og viser som ventet væsentligt højere sikkerhed på dette kort sammenlignet med kortene fra Kangerlussuaq og Nuukområderne. Dels er der den ovennævnte afhængighed i datasættet og dels er usikkerhed ved fejlplacering af GPS-koordinaterne ikke tilstede i flere datasæt.

C.5.5 Vegetationstypernes fordeling langs klimagraderne

Kyst- og indlandsområder er defineret løst, men inkluderer i denne analyse områder ikke længere end 20 km fra henholdsvis kysten og indlandsisen. I Sydgrønland er indlandsområdet dog så gennemskåret af fjorde at de fleste indlandsområder er mindre end 10 km fra en større fjord. Dette gør sig til dels også gældende i Nuukområdet, men her er det inderste af fjorden dækket af is en del af vinteren og den store varmekapacitet for vandet har dermed mindre påvirkning på klimaet end hvis fjorden var isfri.

Fordeling af alle vegetationsrelaterede typer

I Figur C.25 er vegetationstypernes relative fordeling i henholdsvis kyst- og indlandsområderne for de tre hovedområder vist.



Figur C.25 Vegetationstypernes relative fordeling i kyst- og indlandsområder for de tre kortlagte hovedområder.

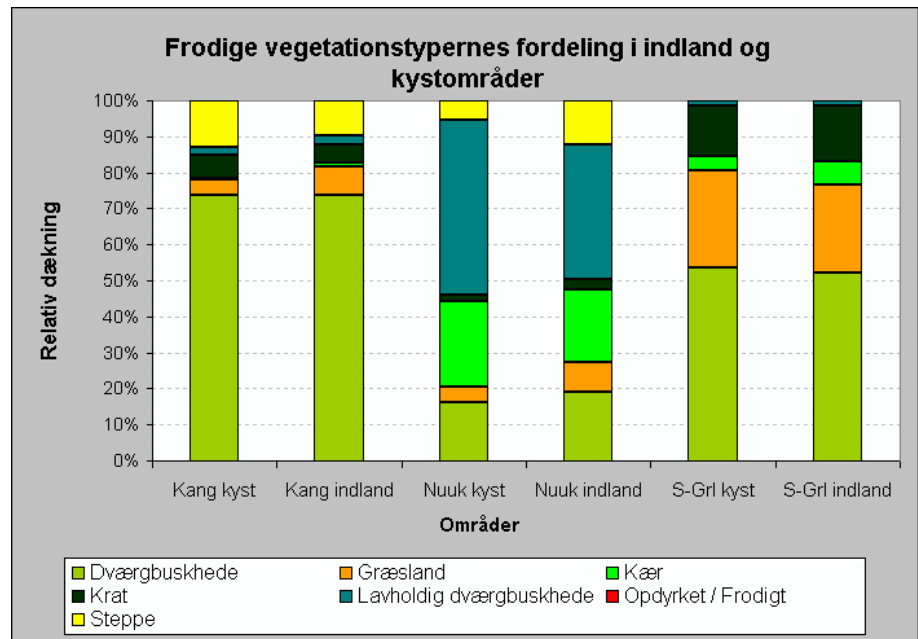
Indenfor hvert hovedområde er nogle forskelle i vegetationstypernes fordeling i indland og ved kysten tydelige. I Kangerlussuaqområdet er fordelingen af vegetationstyperne i store træk ens ved kysten og i indlandet. Dog har indlandet mere bar jord / klippe og fjeldmark end ved kysten (cirka 10% mere af hver type i indlandet). Dette er primært på bekostning af dværgbuskhede og steppe i forhold til kystområderne. I Nuuk hovedområdet er det den lavholdige dværgbuskhede, som er hyppigere forekommende ved kysten end i indlandet, hvor fjeldmark og bar jord / klippe, som ved Kangerlussuaq, er hyppigere. Sydgrønland har en lidt anderledes sammensætning, idet vegetationen i kystområderne er repræsenteret ved 35% dværgbuskhede og næsten lige store dele af græsland, fjeldmark, krat og bar jord / klippe. I indlandet dominerer primært bar jord / klippe (52%) og dernæst fjeldmark med 25%.

Imellem hovedområderne er der, som det kan ses af Figur C.25, også en forskel i sammensætningen af vegetationstyperne. Lavholdig dværgbuskhede forekommer således kun i nævneværdig grad i Nuukområdet, mens dværgbuskhede er væsentligt mere dominerende i Kangerlussuaqområdet end i Nuukområdet.

Relativ fordeling af frodige vegetationstyper

Bar jord / klippe og fjeldmark er i høj grad udtryk for den topografiske variation. Disse typer forekommer primært hvor der er tørt, vindblæst og ringe mulighed for vækst af mere frodigt vegetationsdække. Hvis det vælges kun at fokusere på de mere frodige vegetationstyper og dermed sortere fjeldmark og bar jord / klippe fra tegnes en mere ensartet fordeling af vegetationstyperne i kyst- og indlandszonerne (Figur C.26).

Der ses kun ganske få forskelle i fordelingen af de mere frodige vegetationstyper fra kyst til indland. Største forskel forekommer i Nuukområdet, hvor kystområderne har omkring 15% mere lavholdig dværgbuskhede.



Figur C.26 Relativ fordeling af de frodige vegetationstyper i de tre hovedområder. Steppe inkluderes sjældent i frodige vegetationstyper, men er inkluderet her p.g.a. af dens indhold af *Salix glauca* buske og dermed punktvis frodighed.

Andelen af frodig vegetation ved kysten i forhold til alle andre overfladetyper i kystområderne falder fra 53% i Kangerlussuaqområdet, over 46% i Nuukområdet til kun 33% i Sydgrønlandsområdet. Reelt skulle der forventes en højere andel af frodige vegetationstyper jo længere sydpå i Grønland man befinder sig. Ved en sammenligning hvor fjeldmark og bar jord / klippe anvendes spiller topografien dog en stor betydning. Således er der i Sydgrønland mange høje fjelde over 1000 m, hvor der næsten ikke forekommer vegetation. I Nuuk er hele kystområdet under 300 m højdekurven og giver derfor vegetationen bedre vækstvilkår.

C.6 Diskussion

Kortlægningen af vegetationen i de tre hovedområder diskuteres med vægten lagt på størrelsen af og årsagen til usikkerheden i de tre kort. Endvidere diskuteres resultaterne fra analysen af de botaniske data og spektralsignaturerne. I en kort afsluttende diskussion vil muligheder og begrænsninger for vegetationskortene ved forvaltning i Vestgrønland blive opsummeret.

C.6.1 Kortlægning af vegetationen i de tre områder

Vegetationen er blevet kortlagt i det meste af tre hovedområder. Kun få områder i den nordlige del af Kangerlussuaqområdet og sydøstlige del af Sydgrønlandsområdet er ikke blevet kortlagt på grund af skyer og dataudfald i de tilgængelige satellitbilleder. Desuden er de nordvendte skråninger med skygge ikke blevet klassificeret som vegetation men som skyggeområder, eller i værste fald klassificeret forkert.

C.6.1.1 Træningsklasserne

I afsnit C.5.1 blev det vist at spektralsignaturerne målt i forbindelse med feltarbejdet ikke er direkte sammenlignelige med refleksionen af de tilsvarende områder i satellitbillederne for de tre hovedområder. Analysen blev foretaget med F- og t-test på 0.05% niveau og viste at for størstedelen af spektralsignaturerne var standardafvigelse og middelværdier signifikant forskellige. Som resultat af analysen blev vegetationskortlægningen foretaget på baggrund af træningsklasser fra satellitbilleder og ikke fra de indsamlede spektralsignaturer.

Årsagerne til forskellene kan skyldes flere forhold:

- Forskel i rumlig opløsning af data
- Geometrisk usikkerhed
- Forskel i måletidspunkt for satellit og spektroradiometer

Rumlig opløsning

De to datasæt har en stor forskel i rumlig opløsning. Hvor Landsat TM måler refleksionen fra en 900 m² overflade (*resamplet* til 625 m²), er refleksionen fra Cropscan MSR radiometret fra en cirka 1 m² overflade. White *et al.* (2000) har i et studie af aride overflader vist, hvordan standardafvigelsen af reflektionsmålinger for en overflade falder med lavere rumlig opløsning. Idet spektroradiometret måler lokalt vil mange små forskelle komme til udtryk i de enkelte spektra. Nogle vil vise refleksionen fra primært en jordoverflade, mens andre vil være fuldt vegetationsdækkede. Målinger fra en satellit inkluderer refleksion fra flere overfladetyper indenfor hver pixel og variationen fra pixel til pixel vil derfor ikke være så stor.

Specielt i Sydgrønland viser sammenligningen af standardafvigelserne at Landsat TM i de fleste tilfælde har en signifikant lavere standardafvigelse end spektroradiometret. For Kangerlussuaqområdet og til dels Nuukområdet er mønstret dog ikke så udpræget, men skyldes at træningsområderne på satellitbilleder i disse områder ikke kun inkluderer pixels omkring de botaniske analyser, men også indeholder overflader, hvorfra der ikke er indsamlet spektralsignaturer med spektroradiometret. En direkte sammenligning af standardafvigelserne, vil således ikke være baseret på samme områder og data fra spektroradiometeret vil ikke have den standardafvigelse, som ville være tilfældet hvis målingerne var foretaget i alle træningsområderne. Da vegetationstyperne for de botaniske analyser og dermed de spektrale målin-

ger er udvalgt ud fra et ønske om rene, homogene vegetationstyper, vil mange af spektroradiometermålinger være *biased* mod højere homogenitet end hvis spektra var indsamlet tilfældigt indenfor pågældende vegetationstype.

Geometrisk usikkerhed

Positionen af træningsklasser på satellitbillederne er betinget af den geometriske usikkerhed for satellitbilledet. Denne usikkerhed er diskuteret nærmere nedenfor, men kan medføre at de indsamlede spektroradiometerdata ikke repræsenterer samme overfladetype (Verbyla og Hammond, 1995). Træningsklassernes position i satellitbillederne er udover den GPS-bestemte position, omhyggeligt positioneret ud fra feltkendskab til de omkringliggende typer. På trods af dette kan de repræsentere forskellige grader af overfladetype og dermed resultere i forskellige middelværdier.

Forskel i måletidspunkter

Ingen af dataene fra spektroradiometeret er indsamlet samtidig med at satellitten overfløj området. Dermed vil de indsamlede data ikke nødvendigvis repræsentere vegetationsrefleksion fra samme klimatiske og planteudviklingsmæssige baggrund (Jensen 1999, Reed *et al.* 1994, Stow *et al.* 1993). For eksempel er satellitdata fra Kangerlussuaqområdet optaget d. 22. juni 1995 og 3. september 1996 og beskriver således starten og slutningen af vækstsæsonen fra to forskellige år. Indsamlingen af spektralsignaturer blev foretaget i midten af vækstsæsonen i et tredje år (22. juli til 5. august 1998). Klimatiske forskelle vil blive diskuteret nærmere under den generelle usikkerhedsbetragtning (afsnit C.6.1.4).

Af de ovennævnte årsager vurderes forskellen i rumlig opløsning og forskel i dato for målinger og satellitbilleder at have den største betydning. Det har dog ikke været muligt at foretage en kvantitativ analyse af forskellen i disse.

C.6.1.2 Vegetationstyperne

De kortlagte vegetationstyper beskriver i store træk vegetationen. Med henblik på en analyse af rensdyrenes fødegrundlag ville en optimal kortlægning kunne gå ned på artsniveau og dermed give et bud på udbredelsen af de plantearter, som det ud fra vomprøver og direkte observationer, vides at rensdyrene spiser (Bl.a. Thing 1984, Meldgaard, 1986). Dette er dog ikke muligt med Landsat TM data, hvor den spatiale opløsning begrænser muligheden for at kortlægge på artsniveau. Walker (1983) har i et hierarkisk klassifikations-skema for vegetationsklassifikation i Alaska, anvendt Landsat som basis for et niveau af kortlægning. Han anvender primært fugtigheden til opdeling mellem tundratyper og har i alt 8 vegetationstyper i skemaet for Landsat-niveauet. Walker (1983) erkender faren ved opdeling i for mange klasser ved for lille en rumlig opløsning og opfordrer til ikke at overvurdere mulighederne for vegetationskortlægning med Landsat sensoren. I dette studie giver de botaniske undersøgelser (afsnit C.3.2.1 og Lund, *in prep.*) dog mulighed for en generel artsdifferentiering imellem de lokaliteter hvor der er foretaget feltarbejde. Ud fra de forskellige botaniske analyser har Lund (*in prep.*) således beskrevet de væsentligste botaniske forskelle imellem analyserne af ens vegetationstyper. Beskrivelsen af disse typer og en præsentation af de væsentligste botaniske forskelle er inkluderet på Data-CD'en. For eksempel fremgår det af de botaniske undersøgelser at dværgbuskhede i Kangerlussuaqområdet i indlandet er domineret af *Salix glauca*, *Betula nana* og *Ledum palustre* mens den i kystnære egne er domineret af *Empetrum nigrum* og *Vaccinium uliginosum*. Decideret kortlægning af disse forskelle indenfor hovedområderne er dog ikke muligt. Dels fordi antallet af lokaliteter med botaniske undersøgelser er for lille i forhold til det kortlagte areal og dels fordi overgangen imellem kyst og indland er glidende.

Forskel i definition af typerne i forhold til det botaniske feltarbejde

Opdelingen af vegetationstyperne i de 8 vegetationstyper samt bar jord / klippe (sparsomt vegetations- og lavdække) er baseret primært på botaniske overvejelser om forskellige økotyper. Derudover var det et krav at typerne skulle være relativt spektralt forskellige for at muliggøre en opdeling ud fra satellitbillederne. Endvidere var det med i overvejelserne at vegetationstyperne skulle have relevans for rensdyrenes fødevalgsmønstre. Således er specielt den lavholdige dværgbuskhede adskilt fra de andre dværgbuskheder, idet lav i nogle områder gennem flere sæsoner udgør en vigtig fødekilde for rensdyrene (Thing 1984, Solheim *et al.* 2000). Da det med Landsat TM er muligt at adskille selv relativt sparsomt lavdækkede overflader, er det valgt at inkludere alle dværgbuskheder med lavdække i klassen: Lavholdige dværgbuskheder. Dermed er sammensætningen af analyser en smule anderledes end ved de botaniske analyser, hvor kun dværgbuskheder med over 75% lavdække blev klassificeret i en separat klasse (Lund, in prep.). I denne kortlægning er alle analyser, med lav inkluderet i klassen med Lavholdig dværgbuskhede. En analyse i et sneleje ved Uutaap Kuua er også inkluderet i klassen, lavholdig dværgbuskhede, da denne indeholdt lav og dværgbusken *Salix herbacea*. Spektralt var den også mere lig de lavholdige dværgbuskheder end klassen med reel dværgbuskhede.

Arealfordelingen af vegetationstyperne

I resultatafsnittet (afsnit C.5) blev arealfordelingen af de kortlagte vegetationstyper beregnet fra kortene. Af usikkerhedsvurderingen fremgår det at der for de enkelte typer er en vis usikkerhed i bestemmelsen. I Tabel C.32 er vist en oversigt over arealfordelingen, hvor usikkerhedsvurderingen er inkluderet.

Tabel C.32 Arealfordeling og usikkerhed (user's accuracy) af vegetationstyperne i Kangerlussuaq- og Nuukområdet

	Kangerlussuaq			Nuuk		
	Areal (km ²)	Usikkerhed (km ²)	Usikkerhed (%)	Areal (km ²)	Usikkerhed (km ²)	Usikkerhed (%)
Dværgbuskhede	8196	±1828	22.3	1679	±332	19.8
Fjeldmark	2347	±392	16.7	5958	±2794	46.9
Græsland	1102	±932	84.6	477	±477	100.0
Kær	315	±210	66.7	1162	±775	66.7
Krat	1387	±1387	100.0	263	±157	59.4
Lavholdig dværgbuskhede	434	±434	100.0	2511	±1936	77.1
Steppe	1323	±441	33.3	409	±409	100.0
Bar jord / klippe	2387	±198	8.3	2094	±1047	50.0

I afsnit C.6.1.3 nedenfor er usikkerheden af vegetationskortene diskuteret.

C.6.1.3 Usikkerhedsvurdering

Usikkerheden af vegetationskortene er blevet analyseret efter præsentationen af hvert hovedområde.

Overordnet usikkerhed

For Kangerlussuaq og Nuuk var usikkerhedsvurderingen baseret på feltarbejde med indsamling af data til vurdering af vegetationskortenes usikkerhed. Analysen af usikkerheden er foretaget dels ved traditionelle *confusion* matricer og dels ved *fuzzy* test og resulterede i en overordnet usikkerhed (P) på 76.1% for Kangerlussuaqområdet og 56.4% i Nuukområdet.

For Sydgrønland var usikkerhedsvurderingen baseret på de felter, som blev anvendt i selve klassificeringsprocessen. Da data fra disse felter ikke er uafhængige af data, som blev anvendt til klassifikationen, vil en usikkerhedsanalyse resultere i urealistisk høje sikkerhedsværdier (Hammond og Verbyla, 1996). En usikkerhed, hvor 95.6% af et vegetationskort (i bjergrigt terræn med begrænset feltarbejde) skulle være korrekt, er da også urealistisk højt.

Tabel C.33 Oversigt over nogle vegetationsrelaterede kortlægninger i Arktis gennem de sidste 12 år og deres usikkerhedsvurdering.

Forfatter	År	Lokalitet	Data anvendt ¹	Klassifikationsmetode ²	Antal klasser	Usikkerhedsvurdering (overall accuracy i %) ³	Kortlægnings-formål
Brossard og Joly	1994	Svalbard	TM	Sandsynlighedsmodel	10	-	Vegetation
Colpaert et al.	1995	Finland	TM	Superv.	11	83.6	Rensdyr-habitater
Craighead et al.	1988	Alaska	MSS	Superv.	19	-	Vegetation
Ferguson	1991	Canada	TM	Unsup.-superv. kombination	7	88	Moskus-habitater
Franklin	1991	Canada	TM, SPOT, DTM	Superv.	11	TM: 80 / 85 SPOT: 60 / 77	Vegetation og geomorfologi
Franklin	1990	Canada	MSS, DTM	Superv.	9	58 / 87	Vegetation
Gratto-Trevor	1996	Canada	TM	Unsup.	16	69.2	Kystfugle habitater
Joria og Jorgenson	1996	Alaska	TM	Unsup. + Superv. + Model	15	43 / 46 / 48	Vegetation
Joria og Jorgenson	1996	Alaska	TM	Model	14	52	Vegetation
Käyhkö og Pellikka	1994	Finland	SPOT	Superv.	8	-	Vegetation - overgræsning
Lund et al.	1996	Grønland	TM	Unsup.	8	64	Vegetation, rensdyr-habitater
Lund	1993	Grønland	SPOT	Unsup. + Superv.	21	-	Vegetation
Markon og Derksen	1994	Alaska	SPOT	Unsup. + Superv.	12	-	Vegetation
Morrison	1997	Canada	TM	Unsup.	10	98.3	Kystfugle-habitater
Mosbech og Hansen	1994	Grønland	SPOT, TM, kombination	Superv.	19	71 / 83 / 86	Vegetation
Muller et al.	1999	Alaska	MSS	Unsup.	8	56.5	Vegetation
Muller et al.	1998	Alaska	MSS	Unsup.	6	87	Vegetation
Nilsen et al.	1999	Svalbard	CIR, DTM	Fuzzy c-mean	8	72 / 78	Vegetation
Rees og Williams	1997	Rusland	MSS	Unsup.-superv. kombination	28	-	Vegetationsændringer (fra forurening)
Spjelkavik	1995	Svalbard	TM	Unsup.	15	-	Vegetation
Spjelkavik og Elvebakk	1989	Svalbard	TM	Unsup.	9	-	Rensdyr vinter-habitater
Stow et al.	1989	Alaska	SPOT	Unsup. + Superv.	6	57.5 / 56.8	Vegetation
Tamstorf	1997	Grønland	SPOT, TM, DTM	Superv.	11	98	Vegetation
Williams og Dowdeswell	1988	Rusland	TM	Superv.	72	-	Havfugle-fældeområder

¹: Data inkluderer Landsat TM (TM), Landsat MSS (MSS), SPOT HRV og digitale terrænmodeller (DTM).

²: De primære klassifikationsmetoder er *unsupervised* (Unsup.) og *supervised* (Superv.) metoder.

³: Ved flere studier er der oplyst flere vurderinger, hvor der i studiet har været foretaget sammenligninger ved test af forskellige datasæt eller metoder. F.eks. testede Stow *et al.* (1989) klassifikation ved både *unsupervised* og *supervised* metoder med henholdsvis 57.5% og 56.8% i *overall accuracy*.

For at vurdere usikkerheden af denne kortlægning i forhold til lignende arbejder er der foretaget en opsummering af resultaterne fra flere andre kortlægninger af arktisk vegetation. I Tabel C.33 er der vist en oversigt over de 22 studier. Et enkelt studie fra Svalbard (Nilsen *et al.*, 1999) er baseret på

nærinfrarøde flyfotos, men derudover er de resterende baseret på enten SPOT, Landsat eller en kombination af disse. Enkelte studier har endvidere anvendt digitale terrænmodeller (DTM's) til korrektion af terræneffekter (Franklin 1990 & 1991, Nilsen *et al.* 1999, Tamstorf 1997).

Usikkerhedsvurdering

Som det kan ses af tabellen er der kun foretaget usikkerhedsvurdering i omkring 1/3 af studierne. For de fleste af disse, har data ikke været indsamlet til denne vurdering eller der er ikke taget stilling til usikkerheden af kortet. For enkelte er der dog anvendt metoder hvor den traditionelle usikkerhedsvurdering ikke har været mulig (Brossard og Joly 1994, Spjelkavik 1995). Et enkelt studie har foretaget usikkerhedsvurderingen på træningsdata, da der efter klassifikationsprocessen ikke var uafhængige data til rådighed for en usikkerhedsvurdering (Tamstorf, 1997).

De ovennævnte studier varierer i metoder og anvendte data, men 4 af dem kan sammenlignes direkte med kortlægningen i denne afhandling (Franklin 1991, Joria og Jorgenson 1996, Mosbech og Hansen 1994, Stow *et al.* 1989). De har alle anvendt SPOT eller Landsat TM i et arktisk, bjergigt område uden brug af digital terrænmodel. Ved anvendelse af supervised klassifikation opnår de en sikkerhed på henholdsvis 80%, 46%, 83% og 56.8%. Franklin har endvidere testet anvendelsen af DTM sammen med Landsat TM og øger derved sikkerheden til 85%. Anvendelsen af testen begrænser sig dog til at inkludere DTM-relaterede lag (hældning, orientering etc.) i klassifikationen istedet for en egentlig korrektion af satellitdata.

Antallet af kortlagte klasser

Som nævnt ovenfor har Walker (1983) anbefalet, at der med Landsat sensorer ikke kortlægges flere vegetationstyper end cirka 8. Ved kortlægning af flere forskellige typer kan det være svært at adskille typerne med dertil hørende usikkerhed i resultatet. Endvidere bliver kortene vanskelige at overskue og anvende. Lund (1993), Rees og Williams (1997) og specielt Williams og Dowdeswell (1988) har kortlagt et ganske højt antal af klasser (Henholdsvis 20, 28 og 72). For disse kortlægninger er der endvidere ikke udført usikkerhedsvurdering, så det er vanskeligt at bedømme resultatet af kortlægningen med så mange klasser. Generelt vil feltindsamling af data til usikkerhedsvurdering være omfattende og tidskrævende, hvis alle klasser skal repræsenteres af 30-50 observationer. Mosbech og Hansen (1994) har 19 klasser, men kun de 9 relaterer til vegetationsdækkede flader. Usikkerhedsvurderingen viser for dette studie en høj sikkerhed for de fleste klasser

Det konkluderes, at den overordnede usikkerhed for vegetationskortlægningen i Vestgrønland ikke er unormal lav i forhold til nogle studier. Direkte sammenligning er endvidere vanskelig, idet terrænet og de valgte klasser varierer fra område til område.

Fuzzy-baseret usikkerhedsvurdering

Fuzzy-analysen er blevet foretaget for at muliggøre en mere dybdegående forståelse af usikkerhederne ved vegetationskortene i Vestgrønland. *Max-Right* tabellen giver, som beskrevet, en mulighed for at vurdere usikkerheden ved et graderet tilhørsforhold. For Kangerlussuaqområdet stiger den overordnede usikkerhed således fra 67.6% med 14 procentpoint til 81.3%. Forskellen er at man i *Right*-vurderingen inkluderer områder, som tilsvarende den kortlagte klasse i rimelig grad, hvorimod *Max*-vurderingen kun inkluderer perfekt klassificerede områder. For Nuukområdet stiger den overordnede usikkerhed således fra 49% med *Max*- til 75.1% med *Right*-vurdering.

Max/Right

Med *Right*-vurderingen ses begge områder at få en overordnet usikkerhedsvurdering, som nærmer sig de bedst klassificerede i Tabel C.33. For nogle af

de individuelle klasser er vurderingen dog ikke lige så god. I Kangerlussuaqområdet er det specielt græsland, kær, krat og lavholdig dværgbuskhede, som er dårligt klassificerede og ikke overstiger 50% i sikkerhed ved *Right*-vurderingen. I Nuukområdet er det indenfor de vegetationsdækkede overflader, græsland, kær og steppe, som efter *Right*-vurderingen ikke overstiger 50% ved usikkerhedsvurderingen.

De vegetationstyper, som er vurderet som værst klassificerede, er også dem med få antal observationer i usikkerhedsvurderingen. Dette spiller kraftigt ind på vurderingen, hvor enkelte få dårlige observationer således får stor indflydelse på usikkerhedsvurderingen.

For både krat og fjeldmark (begge med 32 observationer) ses der en forbedring på over det dobbelte i usikkerhedsvurderingen ved *Right* fremfor *Max*-vurderingen. Begge går således fra omkring 35% til 75%. Disse kan derfor forventes at ligge i overgangszoner mellem vegetationstyper. For eksempel er det typisk at overgangen fra dværgbuskhede til krat er meget flydende, specielt i områder hvor dværgbuskheden bliver meget frodig og kratlignende. På afblæste flader findes fjeldmarken, som indeholder det største antal dværgbuske, men i meget sparsomt omfang (Bay, 1998). Ved overgangen fra toppen af afblæsningsfladen ned til mindre udsatte overflader sker der et markant skifte fra fjeldmark til dværgbuskhede. Da mange af fjeldmarksområder i Nuukområdet er meget små i udbredelse vil overgangen mellem denne og den tilstødende overfladetype ligge indenfor samme pixel. Dermed har vurderingen af typen ikke fået maksimumkarakter (5), men en lavere karakter idet typen ikke er helt "ren" ved pågældende lokalitet.

Difference

Difference-vurderingen af vegetationskortene ved Kangerlussuaq og Nuuk er foretaget for at vurdere graden af fejl, der forekommer indenfor hver klasse. Analysen af Kangerlussuaq hovedområdet (Tabel C.23 på side 77) viser at 5 ud af 94 pixels for den dominerende vegetationstype, dværgbuskhede, er klassificeret helt forkert. 9 pixels ud af de 94 er derimod klassificeret helt korrekt. Middel af *Matches* ($Difference \geq 0$) er på 1.99 og dermed en middelgod klassificering af de korrekt klassificerede. Hvis alle var klassificeret helt korrekt ville middel af *Matches* være 4.

For Nuuk er blandt andet kærtypen dårligt klassificeret. Ud fra *Difference*-vurderingen kan det ses, at af de 66% som er *Mismatches* er det hele 9 af disse 10 pixels, som placeres med *Difference*-værdier på -4 og -3 og dermed er helt forkerte. Generelt for *Mismatches* af kærtypen ses middel da også at være -3 , hvilket må anses for temmelig dårligt. I den anden ende er der kun 1 pixel, som er korrekt klassificeret og resten ligger med *Difference*-værdier på $0-2$. Gennemsnittet er på 1.6, hvilket er lavt.

Membership

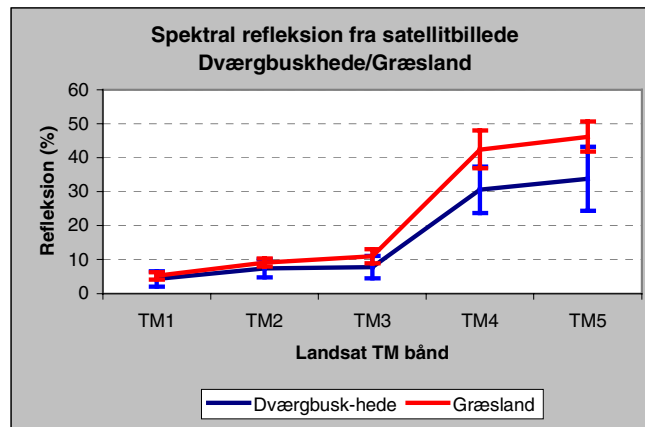
I den sidste del af *fuzzy*-vurderingen beregnes *Membership*-forholdet for de analyserede vegetationstyper. For Kangerlussuaqområdet er 56.8% af de analyserede positioner i gruppen med kun et tilhørsforhold, mens de resterende er med 2 eller 3 tilhørsforhold. Vurderingen viser altså graden af homogenitet for de enkelte vegetationstyper. I Nuuk forekommer således flere heterogene pixels (mixels) end homogene pixels. Kun 49% har et tilhørsforhold til en enkelt type og af disse er de 16.2% ikke korrekt klassificeret (ud fra *Max*-vurderingen).

På baggrund af dels ovenstående usikkerhedsanalyser og dels kendskab til usikkerheder i kortene ud fra visuel analyse, er det tydeligt, at de største usikkerheder forekommer i forbindelse med bestemte vegetationstyper og terrænformer.

I det følgende vil problematiske vegetationstyper i hvert af de tre områder blive diskuteret.

Problematiske vegetationstyper i Kangerlussuaqområdet

I Kangerlussuaqområdet er specielt græsland ikke kortlagt med stor sikkerhed. Således er 11 af de 13 kortlagte græslandspixels i usikkerhedsvurderingen reelt dværgbuskhede, mens kun 2 er klassificeret korrekt. Ved *Max/Right*-vurderingen er forbedringen fra korrekt klassificeret til acceptabelt klassificeret kun på 15%. Fra *Difference*- og *Membership*-vurderingen kan det ses, at disse områder er dårligt klassificeret (middel-*Mismatches* på 2.36), men har primært tilhørsforhold til en anden vegetationstype. Årsagen til denne dårlige kortlægning kan udfra træningsklasser ikke begrundes med at typerne spektralt er ens. (Figur C.27).



Figur C.27 Spektralsignaturer (+/- 1 standardafvigelse) for græsland og dværgbuskheder i Kangerlussuaq hovedområde.

Det er med F- og t-test vist, at de to vegetationstyper er signifikant forskellige (0.05-niveau) i de fem første Landsat TM bånd. Fra feltarbejdet vides det, at disse typer er vidt udbredt i Kangerlussuaqområdet og at begge vegetationstyper forekommer på terræn af varierende orientering og hældning. Træningsarealer er begrænset til 7 og 3 lokaliteter for henholdsvis dværgbuskhede og græsland og dækker således langt fra de spektrale forhold, som de to vegetationstyper forekommer med i Kangerlussuaqområdet.

På trods af dette er typerne forsøgt adskilt, da græsland danner grundlaget for en stor del af de overflader, hvor rensdyrene i løbet af kælvningsperioden opholder sig, og generelt udgør en stor del af rensdyrenes fødegrundlag (Thing, 1984). Mange af dværgbuskhedeoverfladerne har endvidere et stort indhold af *Calamagrostis sp.*, som gør at disse visuelt fremstår med en karakteristisk gulgrøn farve. *Calamagrostis sp.* var den hyppigst forekommende plante i *feeding craters* undersøgt ved Kangerlussuaq og må derfor anses som potentiel fødeart for rensdyrene (Thing, 1984).

Også kærømråderne er vigtige fødeområder for rensdyrene ved Kangerlussuaq (Thing, 1984) og er dårligt klassificeret i vegetationskortet (33.3%). Usikkerhedsvurderingen er dog kun baseret på 3 observationer, hvilket er for lidt til at drage konklusioner fra. For både græsland og kærømråder skulle de have været flere observationer for at sikre en "sikker" usikkerhedsvurdering.

Problematiske vegetationstyper i Nuuk

I Nuukområdet er en af de største fejl at finde i kortlægningen af kærømråder. De våde kærømråder fremstår med relativ lav refleksion i lighed med de nordvendte skråninger, hvor skygge over for eksempel dværgbuskheder nedsætter refleksionen. Dette bevirker at mange af de nordvendte skråninger er

klassificeret som kærområder, men reelt skulle være klassificeret som skygge. Usikkerhedsvurderingen har kun ramt ét skyggeområde og det er derfor ikke muligt at bekræfte dette ud fra usikkerhedsvurderingen. Fra usikkerhedsvurderingen fremgår det til gengæld, at dværgbuskhede og kær er svære at adskille og bliver blandet i vegetationskortet. Således er 10% af dværgbuskheden på kortet reelt kær. Over 50% af kærområder har tilhørsforhold til 2 vegetationstyper, hvilket ud fra usikkerhedsvurderingen må forventes primært at være dværgbuskhede og kær. Da kær typisk forekommer i lavtliggende, flade områder, ville det være relativt enkelt at rette op på denne fejl ved at klassificere alle kærområder med en hvis hældning mod nord som skyggeområder. Tamstorf (1997) anvendte denne metode med gode resultater i Zackenberg i NØ-Grønland. Desværre har en terrænmodel ikke været til rådighed for Nuukområdet, og denne analyse har derfor ikke kunnet gennemføres.

Lavholdige dværgbuskheder i Nuukområdet, tilføjer også en væsentlig usikkerhed til vegetationskortene. Af de 48 pixels, som er analyseret under usikkerhedsvurderingen, er det kun 11, som reelt er lavholdig dværgbuskhede. Størstedelen (31) tilhører reelt klassen dværgbuskhede, som botanisk også er den nærmeste klasse. Fra *Membership*-vurderingen kan det endvidere ses at cirka 65% af de lavholdige dværgbuskheder har tilhørsforhold til 2 eller 3 vegetationstyper. Ud fra *Confusion*-matricen og viden om at overgangen mellem dværgbuskhede og lavholdig dværgbuskhede er meget flydende er det tydeligt, at det primært er disse to, som udgør størstedelen af mixels i de lavholdige dværgbuskheder.

Problematiske vegetationstyper i Sydgrønland

I Sydgrønland er usikkerhedsvurderingen, som nævnt, foretaget på baggrund af træningsarealer. Derved er den resulterende usikkerhed kraftig undervurderet (Hammond og Verbyla, 1996). Ud fra *confusion matricen* bør alle træningsarealer være korrekt klassificeret idet de tilhører netop den statistiske basis som hele billedet er klassificeret efter. Hvis nogle af disse klasser falder udenfor vil det derfor antyde problemer med pågældende overfladetyper. Eventuelt kan det skyldes at en vegetationstype i et område spektralt er meget forskellig fra vegetationstypen ved de andre feltlokaliteter på grund af forskelle i for eksempel artssammensætning, fugtighed eller lignende.

Kærtypen falder i Sydgrønland igennem med kun 41.7% klassificeret korrekt (*user's accuracy*). Den primære forvirring ligger med dværgbuskhede, så det kan forventes, at en del af de kortlagte kærtyper reelt vil være dværgbuskhede. Højest sandsynligt vil det være fugtig dværgbuskhede hvor frodighed og tildels fugtighed kan tilsvare kærtypens frodighed og fugtighed, specielt i tørre somre.

Sammenligning med andre studier af lignende typer

Andre studier i kortlægning af arktisk vegetation har også haft problemer med adskillelse af nogle af de fugtige typer (fugtig dværgbuskhede, kær, etc.). Joria og Jorgenson (1996) har i deres kortlægning med Landsat TM, usikkerhedsvurderinger på deres vådområder, hvor kun 20-40% er korrekt klassificeret. Stow et al (1989) oplyser en usikkerhed på 75% på kærområder (*wet sedge*), mens Mosbech og Hansen (1994) med 78% korrekt klassificeret kærområder har opnået en langt bedre sikkerhed end andre studier.

Franklin (1991) har i studiet med Landsat TM og en DTM opnået en sikkerhed på 66% af de sparsomt bevoksede områder (alpine tundra). I vegetationskortlægningen i de tre hovedområder ligger denne sikkerhed på 83% og 53% (*user's accuracy*) for fjeldmark i henholdsvis Kangerlussuaq- og Nuukområdet.

C.6.1.4 Årsager til usikkerhed i klassifikationresultaterne

Den endelige usikkerhed af vegetationskortlægningen, som er præsenteret ovenfor, er et resultat af flere typer fejl og usikkerheder der stammer fra:

- Datagrundlaget
- Præprocessering
- Klassifikationsprocessen
- Usikkerhedsvurderingen

Usikkerhed fra datagrundlaget

I alle tre hovedområder er vegetationskortene baseret på en mosaik af flere satellitbilleder og fra forskellige datoer. Dette medfører at vegetationen ikke er ens i udvikling og derfor har forskellig refleksion for de samme vegetationsstyper. Specielt ved Kangerlussuaq er der i højlandsdelen i det sydøstlige hjørne af området anvendt et billede fra 3. september 1996. På dette tidspunkt af året og specielt i højereliggende områder er vegetationen afblomstret og klargjort til vinteren. Det vil derfor være svært at skelne imellem flere typer vegetation på dette tidspunkt, hvorfor denne del af billedet fremstår med mindre vegetation end resten af kortet. Denne usikkerhed er ganske væsentlig og der bør tages hensyn til forskelle imellem disse områder ved anvendelse af kortet.

Usikkerhed fra præprocessering

Præprocesseringen indeholder, som beskrevet i afsnit C.4.1, korrektion af stribning, kalibrering og atmosfærisk korrektion, terrænkorrektion samt geometrisk opretning.

Stribningsbetinget usikkerhed

Destribning er foretaget med MNF og FFT, hvor det har været nødvendigt. Metoderne er meget tids- og pladskrævende og der har derfor været foretaget en subjektiv afvejning af hvilke billeder, hvor destribning var påkrævet. Stribning i vegetationsdækkede områder er blevet korrigeret. I enkelte af de vegetationsfattige områder (bar jord / klippe og fjeldmark) er stribning for vegetationsmæssige forhold ikke væsentlig, og kortet for Sydgrønland har derfor synlig stribning enkelte steder i disse klasser.

Usikkerhed fra kalibrering og atmosfærisk korrektion

Kalibrering og atmosfærisk korrektion er foretaget med en efterfølgende kontrol af kendte spektralsignaturer i de enkelte billeder. Usikkerheder fra disse processer forventes derfor ikke at udgøre en nævneværdig del af den endelige usikkerhed.

Terrænbetinget usikkerhed

Terrænbetinget usikkerhed er derimod en af de største årsager til fejlklassifikation i de tre vegetationsområder. Grundet, at der ikke har været en digital terrænmodel af høj kvalitet til rådighed, er der dog ikke mulighed for at estimere størrelsen af denne usikkerhed. I afsnit C.6.1.3 er det beskrevet hvordan andre studier (Franklin 1990 og 1991, Nilsen *et al.* 1999) har opnået forbedringer i den overordnede usikkerhed på op til næsten 40% ved at inkludere en digital terrænmodel i klassifikationsprocessen. Parlow (1996) tester en model for terrænkorrektion (SWIM) på klassifikation af 12 overfladetyper ved Abisko i Nordsverige. Der ses en kraftig forbedring af klassifikationen efter terrænkorrektion, men desværre er der ikke foretaget usikkerhedsvurdering med og uden terrænkorrektion.

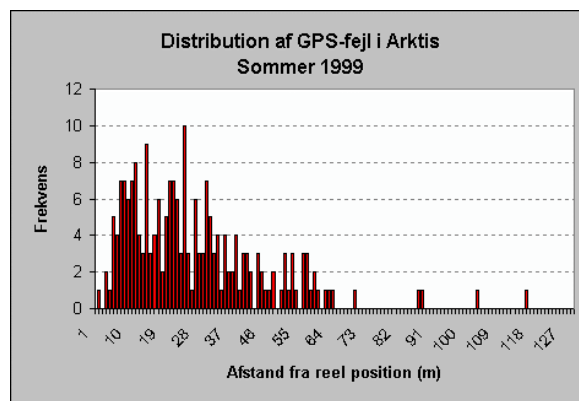
Da den topografiske variation i alle tre hovedområder er stor, vil en god terrænmodel til korrektion af terrænbetingede usikkerheder forøge sikkerheden af kortlægningen væsentligt.

Geometrisk usikkerhed

Den geometriske usikkerhed består dels af selve opretningen af satellitbillederne til kortmaterialet, men også af usikkerheden i kortmaterialet selv og usikkerhed i positionering af feltbestemte træningsklasser på billederne.

Opretningen af satellitbillederne til et kendt koordinatsystem er beskrevet i afsnit C.4.1.5 og gennemsnitlig usikkerhed for hver opretning er listet i Tabel C.11 på side 52. Denne usikkerhed ligger generelt lige under 1 pixel og kun et billede har en RMS på over 1 pixel. Denne fejl beskriver dog kun usikkerheden i forholdet mellem kort og satellitbillede og ikke usikkerheden i kortet selv (Lunetta *et al.*, 1991). Usikkerheden i kortet varierer fra 50 m til 500 m i områder, hvor der er anvendt ældre flybilleder til genereringen af kortene (Weng og Nielsen, 1997).

Feltobservationerne er positionsbestemt med GPS, som under feltarbejdet havde en usikkerhed mellem 30 og 100 m. Steven Muller (*pers. komm.*) foretog i sommeren 1999 feltarbejde i det nordlige Alaska, hvor GPS positioner blev målt i felten og senere korrigeret med differentiell GPS. Dette muliggjorde en analyse af fordelingen af de fejl, som GPS'en i felten havde (Figur C.28).



Figur C.28 Fordeling af positionsfejl ved håndholdt GPS (data fra S. Muller, *pers. komm.*)

Muller målte i lighed med dette projekt positionerne i felten med en standard håndholdt GPS, hvor fejl fra S/A-koden er inkluderet. Ved afslutning af feltarbejdet var det dog her muligt at korrigere de fundne positioner ved anvendelse af postkorrektion fra en GPS, som havde målt dens egen position på en fast position under feltarbejdet. I Figur C.28 er afstanden imellem de feltmålte og de post-korrigerede positioner beregnet og sat op i et frekvensdiagram. 50% af punkterne havde en fejlangivelse af positionen på under 23.5 m og omkring 96% af alle punkterne havde en fejl på mindre end 60 m. Det pågældende forsøg giver ikke nogen usikkerhed på de i RenVeg-projektet målte data men resultaterne giver dog mulighed for lidt større tro på positionsbestemmelsen fra håndholdte GPS'ere.

Tilsammen medfører unøjagtigheden i GPS-positionerne og opretningen af satellitbillederne en usikkerhed i vegetationskortet, men også i usikkerhedsvurderingen. Verbyla og Hammond (1995) analyserer effekten af fejl i opretningen af satellitbillederne. De foretog tre *unsupervised* klassifikationer (5, 10 og 25 klasser) af både et SPOT og et Landsat TM billede. Derefter anvendte de disse klassifikationer, men geometrisk skubbet en pixel i fire retninger (nord, syd, øst og vest), til at foretage en usikkerhedsvurdering af klassifikationerne. Klassifikationerne, som anvendes til kort og feltdata, er identiske og vil således give en sikkerhed på 100%, hvis de er korrekt registreret. Usikkerhedsvurderingen resulterede i estimater på mellem 64.0% og

84.9% for SPOT og mellem 62.7% og 76.9% for Landsat TM. Usikkerhederne var størst for klassifikationerne med 25 klasser.

Resultatet af en fejl i den geometriske opretning medfører altså en konservativ *bias* af usikkerhedsvurderingen, idet klassifikationen reelt er bedre end usikkerhedsvurdering antyder. Omvendt vil en fejl i geometrisk opretning eller positionering af felldata fra GPS, medføre at træningsarealer, som anvendes til klassifikationen, kan være skævt placeret. I dette studie er der dog taget stor hensyn til de omkringliggende områder (søer, markant vegetation etc.) ved placeringen af træningsarealerne på satellitbillederne. Fejlen fra den geometriske opretning må derfor forventes primært at tilføre konservativ *bias* til usikkerhedsvurderingen.

Usikkerhed fra klassifikationsprocessen

I selve klassifikationsprocessen forudsættes der ved anvendelse af *maximum likelihood*, at data fra træningsarealerne er normalfordelte (Jensen, 1996). For dette studie, hvor træningsarealer er udvalgt i homogene vegetationstyper, og placeringen af disse på satellitbilleder er foretaget med omhu er denne forudsætning opfyldt. *Maximum likelihood* kan derimod ikke klassificere pixel med to eller flere vegetationstyper repræsenteret, men tildeler istedet én klasse til pågældende pixel (Lunetta *et al.*, 1991). Mange pixels vil, som det er beskrevet i *Membership*-vurderingen, have tilhørsforhold til flere vegetationstyper og dermed ikke kategorisk kunne klassificeres som en type.

Antallet af træningsarealer

Antallet af træningsarealer er yderligere med til at begrænse sikkerheden af klassifikationen. For at klassificere satellitbilledet med så lav usikkerhed som muligt, er det vigtigt at træningsarealerne for hver vegetationstype repræsenterer spredningen af vegetationstypen indenfor hele det område, der skal klassificeres (Jensen, 1996). Forskelle i dato for to forskellige satellitbilleder vil som minimum betyde, at overfladefugtigheden og sandsynligvis også den fænologiske udvikling for vegetationen ikke er ens for de to billeder. I sådanne tilfælde bør træningsarealerne udvælges, så de dækker de pågældende vegetationstyper i begge billeder. I dette studie har der under feltarbejdet været foretaget botaniske analyser af alle de kortlagte vegetationstyper (afsnit C.3.2.1).

Spatial autocorrelation dækker over problemet at to pixels ved siden af hinanden ikke er uafhængige (Lunetta *et al.*, 1991). Hammond og Verbyla (1996) beskriver hvordan en Landsat TM klassifikation, hvor træningsdata er udvalgt som få homogene blokke af pixels med samme vegetationstype, overestimerer en klassifikation med 11%. For indsamling af træningsdata ville det optimale derfor være, at data blev indsamlet på baggrund af pixels spredt ud over hele området med et minimum antal for hver vegetationstype (Jensen, 1996). I betragtning af diskussionen om usikkerheden i den geometriske opretning og for GPS-positionering ville det dog være stort set umuligt at finde tilfældigt udvalgt pixels i et bjergigt terræn (Franklin *et al.*, 1991). Da der endvidere er økonomiske begrænsninger forbundet med kortlægningen, ville det praktisk ikke være muligt at komme rundt til alle de lokaliteter indenfor en overskuelig tid.

Fejl i usikkerhedsvurderingen

Usikkerhedsvurderingen med *confusion matrix* og *fuzzy-sets* er med til at give en grundig forståelse af usikkerheden for satellitbaserede kort (Congalton 1991, Hammond og Verbyla 1996, Muller *et al.* 1998). Vurderingen er statistisk baseret og derfor ikke udtryk for den sande fordeling af vegetationstyperne men et estimat af denne. Årsager der kan medføre at estimatet forringes inkluderer blandt andet:

- antallet af observationer til usikkerhedsvurderingen
- geometrisk usikkerhed af disse
- autokorrelation af de indsamlede data

Antal observationer

Som nævnt i afsnit C.4.3.2 er antallet af observationer til usikkerhedsestimeringen vigtig for hvor effektiv vurderingen er. Congalton (1991) foreslår således et minimum på 50 observationer per overfladetype for at opnå et statistisk grundlag, som vil muliggøre en god usikkerhedsvurdering af en Landsat TM scene. I usikkerhedsvurderingen for Kangerlussuaq- og Nuukområderne er det kun dværgbuskhede, som er blevet repræsenteret med mere end 50 pixels. De fleste vegetationstyper er repræsenteret med under 15 pixels og kun i Nuukområdet er 4 typer (dværgbuskhede, fjeldmark, krat og lavholdig dværgbuskhede) repræsenteret ved mere end 30 pixels. Årsagen til at så få vegetationstyper er blevet repræsenteret ved et passende antal pixels, er dels at kun få af vegetationstyperne opfylder kravet om homogene overflader på 3*3 pixels, og dels at *sampling*-metoden favoriserer de mest udbredte vegetationstyper.

Geometrisk usikkerhed

Den geometriske usikkerhed af træningsklasserne er allerede diskuteret ovenfor og de samme argumenter gælder for positioneringen af usikkerhedsobservationerne. Forskellen er dog, at hvor træningsklasserne meget omhyggeligt blev placeret på de rigtige positioner på satellitbillederne, er usikkerhedsobservationerne placeret udelukkende på grundlag af de indsamlede GPS-positioner. Derfor vil usikkerhedsvurderingen i lighed med testen af Verbyla og Hammond (1995) give et konservativt bud på sikkerheden af vegetationskortet.

Autokorrelation

Spatial autocorrelation er ligeledes beskrevet ovenfor under usikkerheder i forbindelse med klassifikationsprocessen. Indsamlingen af observationer til usikkerhedsvurderingen blev foretaget så autokorrelation blev minimeret indenfor de logistiske rammer, som var til rådighed. Dermed var det ikke muligt at adskille hvert punkt med 50 pixels, som foreslået af Congalton (1988). I stedet blev punkterne udvalgt fra homogene (3*3) områder, som lå med en indbyrdes afstand på minimum 100 m og 250 m for henholdsvis vandrings- og helikoptertransekterne. Effekten af autokorrelation forstærkes i bjergrigt terræn (Congalton 1988), men en vurdering af graden af usikkerhed er ikke mulig at vurdere på dette datagrundlag.

C.6.1.5 Opsummering

På baggrund af de ovennævnte usikkerheder og årsagerne til disse er det vigtigt at der tages stilling til disse ved anvendelse af kortet. For eksempel er det vigtigt at kortet ikke anvendes til at udpege enkelte pixels, i den tro at vegetationstype tilsvarende præcis den type som kortet viser. Dels forekommer der egentlige kortlægningsfejl og dels er mange af de kortlagte pixels, såkaldte mixels, som indeholder to eller flere vegetationstyper.

Ved usikkerhedsvurderingen af de klasser hvor der er flere end 10 observationer til rådighed, ses der generelt en bedre sikkerhed end for klasserne med kun meget få observationer til rådighed. Et bedre usikkerhedsvurdering af de underrepræsenterede klasser kunne derfor tænkes at give en højere sikkerhedsvurdering men dette er uvist indtil yderligere observationer er foretaget og inkluderet i vurderingen.

C.6.2 Vegetation og klimagradier

Klimaet på Vestkysten blev beskrevet i afsnit B.2.2 med en nærmere gennemgang af klimaparametrenes ændring langs de tre dominerende klimagrader: nord/syd, kyst/indland samt den topografiske gradient. Ifølge Bay (1997) ligger hele området indenfor det lavarktiske plantebælte, som er defineret på baggrund af plantearternes udbredelse og dermed de klimatiske begrænsninger. Kun en lille del af indlandet i Sydgrønland, ligger udenfor Arktis og er defineret i den sub-arktiske zone.

På trods af at Vestgrønland i store træk tilhører samme plantezone er der store forskelle i klimaet og dermed også i udbredelsen af plantearterne (Bay *et al.*, 1999). Temperatur og nedbør varierer langs alle tre grader og vil på grund af deres betydning for planterne medføre en begrænsning i fordelingen af de enkelte arter.

Vandtilgængeligheden er den vigtigste faktor for fordelingen af plantearterne og vil på grund af dens ændring langs alle tre grader, også medføre ændringer i plantesammensætningen langs disse (Jonasson *et al.*, in press). Dette skyldes, som beskrevet i afsnit B.2.3, at nogle plantearter er bedre til at modstå stress fra de abiotiske forhold og har tilpasset sig specielle klimatiske forhold. Således er for eksempel *Betula nana* og *Ledum palustre* begge dværgbuske, som primært forekommer i kontinentale områder, hvor dværgbuskene *Empetrum hermafroditum* og *Salix herbacea*, typisk forekommer i mere kystnære områder (Fredskild, 1996). Typerne er dog ikke helt fraværende i de andre områder, men for eksempel forekommer *Empetrum hermafroditum* kun sporadisk i indlandet, hvor den i kystnære områder danner et sammenhængende, homogent vegetationsdække (Bay, 1998). Lignende eksempler kan findes i urterne, hvor *Pedicularis lapponica* forekommer hyppigt i indlandet, men kun sjældent ved kysten (Fredskild og Bay, 1987).

I afsnit B.2.3.2 blev det endvidere vist at temperaturen er begrænsende for udbredelsen af *Betulas pubescens* og at denne ikke forekommer på nordligere breddegrader i Grønland. Omvendt gælder det for *Betula nana* at den ikke forekommer i Sydgrønland, men begrænser sig til områder på Vestkysten nord for cirka 62° (Fredskild, 1996).

C.6.2.1 Vegetationstypernes udbredelse

Der er en stor forskel i udbredelsen af de enkelte plantearter. I det ovenstående er kortlægningen af vegetationstyperne i de tre hovedområder præsenteret.

Ud fra vegetationstypernes udbredelse er det ikke muligt at erkende samme mønster i udbredelse fra klimatiske betingelser, som det ville være fra et udbredelseskort baseret på de enkelte plantearter. Årsagen til dette er at de kortlagte klasser er relativt brede klasser, som alle forekommer indenfor Lavarktis. Indenfor de enkelte typer vil den begrænsede udbredelse af de enkelte typer dog slå igennem, således at dværgbuskheden i indlandet ikke har samme artssammensætning som dværgbuskheden på kysten. *Empetrum hermafroditum* udgør således en stor del af dværgbuskheden ved kysten, mens den i indlandet kun forekommer som en mindre væsentlig del af typen (Bay, 1998). Ved at anvende de botaniske analyser fra feltarbejdet vil det således, til en vis grad, være muligt at differentiere artssammensætningen af en given vegetationstype fra kyst til indland (jvf. afsnit C.6.1.2).

Nord/syd gradient

I afsnit C.5.5 er de frodige vegetationstyperes fordeling langs kyst/indland og nord/syd gradienten præsenteret. Nord/syd gradienten resulterer mest i at der i de sydlige dele forekommer mindre frodig vegetation end i de nordligste

områder. Årsagen til dette er dels at topografien i Sydgrønland medfører, at den frodige vegetation primært forekommer i dalene, mens der helt ude ved kysten tit er store områder med bar, ubevokset klippe (Hansen, 1991). En direkte sammenligning af de frodige vegetationstyper vanskeliggøres også af den forskellige vegetations sammensætning fra syd til nord. Krattypen i Sydgrønland har således en væsentligt højere biomasse end de tilsvarende typer i Kangerlussuaqområdet. Dette skyldes blandt andet at typen i Sydgrønland inkluderer *Betula pubescens*, som danner egentlig birkeskov i enkelte områder i de inderste fjorde (Bay *et al.*, 1999). Jo længere nord man kommer, desto færre bliver antallet af forekommende arter også (Billings, 1992).

Kyst/Indland gradient

Indenfor hvert område er der ikke den store forskel i hyppigheden af forekommende vegetationstyper. I Nuuk forekommer lavholdig dværgbuskhede, dog hyppigere ved kysten end i indlandet mens dværgbuskhede, græsland og steppe er lidt hyppigere i indlandet. Sparsomt vegetationsdækkede overflader (fjeldmark og bar jord / klippe) forekommer hyppigere i indlandet end ved kysten og er blandt andet et udtryk for den topografiske forskel. Områderne i indlandet ved Nuuk har en topografi med forskelle i højde fra fjorden til cirka 1600 meters højde. Ved kysten er der ikke over 300 meters højde og derfor forekommer sparsomt vegetationsdækkede overflader forårsaget af den topografiske gradient ikke herude. Bare klippeoverflader forekommer dog ofte på vindudsatte bakketoppe på Akia, men størrelsen af de enkelte felter er tit ikke større end at de indgår sammen med vegetationsdækkede overflader i såkaldte mixels (Bay, 1998).

I både Kangerlussuaq- og Sydgrønlandsområdet er forskellen i fordelingen af frodige vegetationstyper i indlandet og ved kysten ikke stor. Kun Kangerlussuaq har små forskelle i steppe og dværgbuskhede. For Sydgrønland er der større forskel, når bar jord / klippe inkluderes i analysen. Den forekommer således 5 gange så hyppigt i indlandet end ved kysten.

Topografisk gradient

Den topografiske gradients indflydelse på de klimatiske parametre, og dermed også plantedækket, er stor i dele af Vestgrønland. I afsnit B.2.2.4 blev der således vist, hvordan nedbøren i nogle bjergrige egne i Kangerlussuaqområdet kan nå over 1000 mm om året, men på trods af dette er det ikke muligt for vegetationen at vokse i disse områder. Temperaturen er i disse områder op imod 10° lavere end ved havoverfladen (ved fugtadiabatisk gradient) og samtidig meget vindudsatte. Dette medfører, at vækstsæsonen bliver meget kort og barsk og at højere plantearter derfor ikke kan overleve her. I Sydgrønland gør topografien, ligesom i Nuukområdet, sig gældende med højere bjergpartier i indlandet, som medfører en større hyppighed af vegetationsløse eller sparsomt vegetationsdækkede overflader.

I beskrivelsen af vegetationstypernes fordeling langs de andre gradienter, er det blevet nævnt, hvordan de sparsomt vegetationsdækkede og vegetationsløse områder, forekommer hyppigere i reliefrige områder i for eksempel indlandet i Nuuk og Sydgrønland.

C.7 Konklusion

Vegetationskortlægningen er gennemført i de tre hovedområder i Vestgrønland og i den ovenstående diskussion er størrelse af og årsager til usikkerheden på vegetationskortene gennemgået. Vegetationskortene er inkluderet på den vedlagte Data-CD, og er klar til anvendelse for forvaltningsmæssige studier i Vestgrønland. I nedenstående, vil konklusionen af usikkerhed og begrænsninger kort blive opsummeret og diskussionen om gradientbetingede vegetationsforskelle afrundet.

C.7.1.1 Anvendelse af kortene

På baggrund af de foretagne analyser og ovenstående diskussion antages estimeringen af den arealmæssige udbredelse af vegetationstyperne i de tre hovedområder at være relativt god. Kortet vil derfor være meget anvendeligt for studier af en relativ fordeling af vegetationstyperne, hvor der ikke stilles krav til at vegetationstypen for en enkelt pixel i en præcist angiven pixel er korrekt klassificeret. Specielt for nogle vegetationstyper vil usikkerheden være høj og fejl fra sådanne analyser kan derfor blive store. Kortene bør derfor anvendes med varsomhed til sådanne studier.

På grund af at nogle områders vegetationsdække er kortlagt på basis af satellitbilleder fra start eller slut af vækstsæsonen vil disse kunne vise et forkert billede af vegetationstyper. Specielt i de sydøstlige og nordøstlige dele af Kangerlussuaqområdet, hvor der er anvendt et billede fra september, er denne risiko stor.

C.7.1.2 Usikkerhed

Generelt kan det konkluderes, at usikkerheden på det nuværende kort er på samme niveau som i andre kortlægningsstudier af arktisk vegetation. Dog er der væsentlige forhold (forskellige dato på anvendte billeder, manglende terrænkorrektion etc.) i forbindelse med kortlægningen, som medfører, at der er grund til at kortene anvendes med forsigtighed. Endvidere at der ud fra de påpegede fejl og mangler, ved processen tages højde for disse i et fremtidigt kortlægningsprojekt.

Tilgængeligheden af data har medført at satellitdata ikke er nedtaget på samme tidspunkt, som feltarbejdet er udført. Primært på grund af dette har det ikke været muligt at anvende de indsamlede spektralsignaturer som træningsarealer, og det har istedet været nødvendigt at anvende positionerne med de kendte overfladetyper fra de botaniske undersøgelser.

De største usikkerheder anslås at skyldes, at det i præprocesseringen ikke har været muligt at foretage korrektion af terræneffekter og at feltarbejdet har været begrænset. Begrænsningen af feltarbejdet har haft betydning både ved indsamling af træningsarealer og ved indsamling af observationer til usikkerhedsvurderingen. Således ville en indsamling af træningsarealer, som ikke var begrænset af tidskrævende botaniske undersøgelser, have medført en større basis at kortlægge vegetationen på baggrund af. Derimod ville dette medføre at det ikke var muligt objektivt at differentiere imellem artssammensætningen på de forskellige lokaliteter (afsnit C.6.1.2).

Ved indsamlingen af observationer til anvendelse ved usikkerhedsvurderingen var der ikke tid og penge nok til at danne grundlag for en god usikkerhedsvurdering af alle vegetationstyperne. Vegetationstyper med sparsom

udbredelse er som resultat af indsamlingsmetoderne blevet underrepræsenteret og det er derfor muligt at usikkerhedsvurderingen af disse typer ikke er korrekt.

På baggrund af dels den visuelle analyse fra feltarbejde og dels usikkerhedsvurderingen er det klart at nogle vegetationstyper er kortlagt med lavere usikkerhed end andre. Problemer med enkelte vegetationstyper forekommer primært i Kangerlussuaqområdet med græsland og dværgbuskhede, i Nuukområdet med kær i skyggeområder og adskillelsen mellem dværgbuskhede og lavholdig dværgbuskhede, samt i Sydgrønland med adskillelse af dværgbuskheder fra kærømråderne.

C.7.1.3 Gradientbetingede vegetationsforskelle

I afsnit C.6.2 er vegetationstypernes fordeling langs klimarelaterede gradienter diskuteret. Små forskelle i fordelingen af vegetationstyperne langs gradienterne kyst/indland, nord/syd og topografisk er fundet. Men da de største forskelle ligger i artssammensætningen indenfor hver vegetationstype har de store gradientbetingede vegetationsforskelle ikke kunnet kortlægges. Ved at kombinere vegetationskortene med de botaniske undersøgelser er det dog muligt at foretage en differentiere imellem artssammensætningen ved de valgte lokaliteter og anvende denne til at drage estimeringer af vegetations-sammensætningen i for eksempel henholdsvis kyst og indlandsområder.

D Retrospektiv AVHRR analyse

Gennem de sidste 20 år har der været en stigende fokus på rensdyrene hvilket har medført et behov for kortlægning af dels rensdyrenes vandringmønstre og deres fødegrundlag, men også af den løbende udvikling i dette. Årlige ændringer i snesmeltning og i udviklingen af vækstsæsonen påvirker fødegrundlaget for rensdyrene i Vestgrønland (se Sektion E). En analyse af disse ændringer vil være væsentlig baggrund for forståelsen af bestands-svingninger og vegetationsændringer.

Datasæt til tidsserieanalyser

Kortlægning baseres normalt på enkelte satellitbilleder, således at kortet er et øjebliksbillede af overfladetypernes udbredelse. I nogle tilfælde anvendes dog flere billeder fra forskellige datoer, så man opnår en multitemporal klassifikation og dermed et mere generelt billede af de analyserede overfladers udbredelse. Satellitbaserede datasæt, som strækker sig over en længere år-række, har gjort det muligt at foretage analyser af ændringer istedet for som tidligere at være begrænset til øjebliksbilleder. NOAA AVHRR har siden starten af 1980'erne dannet grundlag for utallige studier ligefra meteorologi over katastrofemonitering til mere generelle jordobservationsstudier og har med det omfattende datasæt muliggjort tidsserieanalyser. Geostationære satellitter (f.eks. Meteosat) har et lignende datasæt men kan grundet sin geostationære position ikke anvendes i pol-nære områder.

Analyserne har inkluderet såvel monitering af forskellige overfladeparametre, som generelle studier af anomalier af for eksempel vækstsæsoner med henblik på validering af eventuelle klimaændringer (Cihlar *et al.* 1998, Cracknell 1997, Di og Hastings 1995, Gutman 1999, Gutman og Ignatov 1995, Myneni *et al.* 1998, Potter og Brooks 1998, Ricotta *et al.* 1999, Running *et al.* 1994). I Grønland og generelt i Arktis har der været foretaget en del studier med interesse primært i vegetationsindeks og til dels også i snekortlægning (Hansen 1989, 1990, 1991a, Hansen og Søgaard 1989, Markon *et al.* 1995, Robinson *et al.* 1993, Winther, og Hall 1999). Walker og Markon 1996 beskriver projektet *Circumpolar Arctic Vegetation Map (CAVM)*, som vil kortlægge vegetationen i Arktis ved hjælp af NOAA AVHRR. Steffen *et al.* (1993) giver et overblik over metoder og anvendelse af AVHRR til monitering og analyser af sne og is-relaterede parametre.

Snedække

Snedækket har stor betydning for såvel klimaet som plantedækket og dyrelivet i Arktis. På nogle lokaliteter falder størstedelen af årsnedbøren som sne og er derfor betydende for plantedækkets vandtilførsel igennem vækstsæsonen. Også som vandkraftressource er snedækket af betydning i arktiske egne og specielt i Vestgrønland.

Plantedække

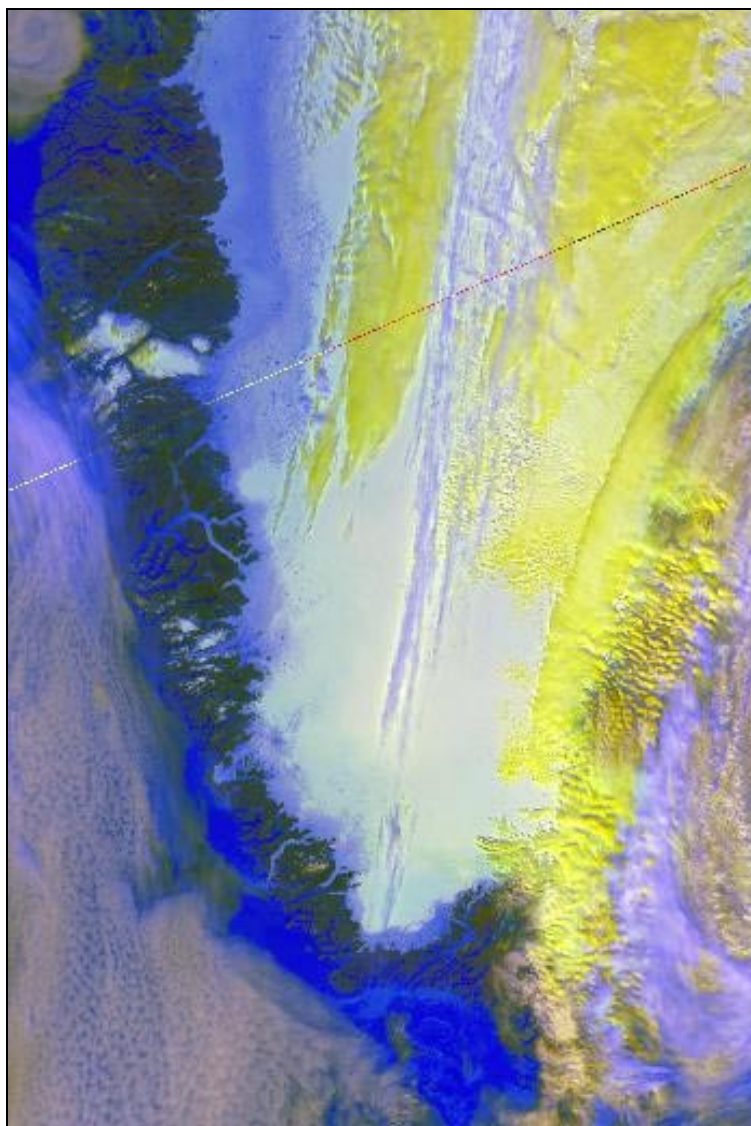
For plantedækket er tidspunktet for sneafsmeltningen væsentligt, idet det har direkte indflydelse på den begrænsede tidsperiode, hvorunder plantedækket skal gennemgå reproduktionscyklus (Lægaard, 1981). Da forskellige plantetyper er varierende følsomme overfor frostpåvirkninger kan en for tidlig afsmeltning med efterfølgende frost være fatal for de pågældende plantetyper (Born og Böcher, 1999).

AVHRR-sensoren er blandt andet blevet anvendt i Grønland til at estimere relativt snedække indenfor hver 1km^2 pixel. Hansen og Mosbech (1994) anvendte en kombination af terrænkorrigeret albedo og albedoværdierne for henholdsvis fuldt og intet snedække til at estimere snedække og -dybde (en

metode som tidligere var blevet testet af Søgaard (1985) og Søgaard og Thomsen (1988)). NESDIS (National Environmental Satellite, Data, and Information Service) under NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) laver i dag ugentlige snedækkkort for hele den nordlige halvkugle (NESDIS, 2000) baseret på 1-km AVHRR data.

Modellering

Monitering og analyser af parametre over længere tid har medført et behov for modellering af disse parametre. I forbindelse med monitering af vegetation og vækstsæson er flere modeller blevet udviklet (Blandt andet: Fisher 1994, Goldman og Verbyla 1999, Lüdeke *et al.* 1996, Shibayama *et al.* 1999). Hall og Martinec (1985) og Tamstorf (1997) har tidligere anvendt modellering af albedoværdier for at beskrive snesmeltning.



Figur D.1 NOAA AVHRR billede (Kanal 2, 1 og 3 i henh. R, G, B) fra 24. juli 1989

For at undersøge ændringer i væksten af vegetationsdækket i Vestgrønland og betingelser fra år til år er der indkøbt billeder fra perioden 1983-1996 til en retrospektiv analyse af sne- og vegetationsdækket i Vestgrønland. Analysen baserer sig på NOAA AVHRR satellitbilleder, som har en dårligere spatial opløsning end Landsat TM, men til gengæld dækker hele vestkysten af Grønland fra Disko til Kap Farvel med daglige billeder. Et eksempel fra 24. juli 1989 er vist i Figur D.1.

Endvidere er der indhentet et næsten komplet sæt af daglige NOAA AVHRR 5-km data for to lokaliteter fra perioden 1982-1998. Disse data benævnes i det følgende punktdata.

D.1.1 **Formål**

Formålet med denne retrospektive analyse er at analysere variationen i snesmeltning- og vækstsæsonen i Vestgrønland siden 1980 ved at udvikle nogle modelleringsmetoder. Metoderne vil være en hjælp til beskrivelse af ændringer i sne og vegetationsdækket fra år til år.

Analysen er opdelt på to datasæt:

- Billeddata (et datasæt bestående af 156 NOAA AVHRR HRPT data billeder fra perioden 1983-1996, der dækker Vestgrønland)
- Punktdata (datasæt af næsten daglige NOAA AVHRR GAC data fra to lokaliteter på Vestkysten for perioden 1982-1998).

hvor billeddata vil blive anvendt til en overordnet præsentation og beskrivelse af ”middel-vækstsæsoner” for sne og NDVI baseret på 10-dages intervaller. Punktdata vil blive anvendt til modellering af parametre, som kan beskrive snesmeltning og vækstsæsonen fra år til år og test af disse metoder til en eventuel senere ekstrapolation til analyse af hele Vestkysten.

D.2 Datagrundlag

NOAA AVHRR sensoren har siden 1978 indsamlet data, der i dag foreligger for de fleste områder af jordkloden, som en lang sammenhængende dataserie med en veldokumenteret og let tilgængelig databeskrivelse. Blandt andet har Cracknell (1997) en dybdegående beskrivelse af AVHRR data opbygning og anvendelse.

Billeddata

Asiaq (Grønlands Forundersøgelser) købte i 1997 billeddata til at foretage en retrospektiv analyse af sne- og vegetationsdækket i Vestgrønland. Da de indkøbte billeder ikke var tilstrækkeligt dækkende for snesmeltning- og vækstsæsonerne, har det ikke været muligt at foretage den pågældende analyse for de enkelte år på disse data. Dataene er istedet anvendt til en vurdering af middelsæsoner på Vestkysten og er præsenteret på Data-CD'en.

Punktdata

Til analyse af de enkelte år er i stedet rekvireret data fra 2 udvalgte positioner i Vestgrønland gennem National Snow and Ice Data Center (NSIDC) i Boulder, Colorado for de fleste af årene i perioden 1982-1998 (i det følgende benævnt punktdata). Modelleringen i afsnit D.3.4.2 og D.3.5.2 er således foretaget på punktdata og ikke på billeddata.

D.2.1 Generelt om NOAA AVHRR

Serien af NOAA data fra satellitter i polar bane blev grundlagt i 1960 med opsendelsen af TIROS-1 satellitten. I 1978 blev den første af den seneste generation af satellitten opsendt. Dette var TIROS-N, som var forsynet med Advanced Very High Resolution Radiometer. TIROS-N er blevet efterfulgt af NOAA-6 til og med NOAA-15 som er operationel i øjeblikket. Serien af disse satellitter fortsættes med planlagte opsendelser foreløbig til 2007 (NOAA web 2000).

Oprindeligt var NOAA AVHRR sensoren tiltænkt meteorologiske og oceanografiske formål, men har været anvendt bredt til jordobservationsstudier. Cracknell (1997) gennemgår sensorer og deres anvendelse med en omfattende referenceliste.

I dette projekt er indkøbt data fra satellitterne NOAA-7, -9, -10, -11, -12 og -14. Alle har omtrent samme spektrale opsætning (Tabel D.1) og afviger kun i de termale bånd i de senest opsendte satellitter. Dette har for tidsserieanalyserne dog ingen betydning.

Spektral opløsning

Tabel D.1 Kanaler og båndbredde (T_m) for de anvendte AVHRR data (efter Cracknell, 1997).

Kanal	Satellit	
	NOAA-6, -9, -12	NOAA-7, -11, -14
1	0.58-0.68	0.58-0.68
2	0.725-1.10	0.725-1.10
3	3.55-3.93	3.55-3.93
4	10.50-11.50	10.30-11.30
5	10.50-11.50	11.50-12.50

Radiometrisk og spatial opløsning

AVHRR sensoren leverer data i flere forskellige opløsninger. De her anvendte er *High Resolution Picture Transmission* (HRPT), som leverer data i 10-bit radiometrisk og 1 km spatial opløsning ved nadir samt *Global Area Coverage* (GAC), som reelt er resamplede HRPT-data med cirka 5 km's opløsning.

AVHRR har med sin relativt brede *swath width* på 2700 km en *off-nadir view angle* på cirka 55° til begge sider. Dette medfører flere problemer som ikke er tilstede i samme grad i andre multispektrale satellitter (f.eks. Landsat TM) som har en meget lille *view angle*. Den store *view angle* medfører udover geometriske problemer hvor pixels i udkanten af billedet svarer til meget store områder (>>1 km) også at det radiometriske signal fra to identiske overflader ved nadir og i udkanten af billedet er forskellige. Refleksion fra udkanten af billedet skal igennem mere atmosfære og medfører dermed mere atmosfærisk støj i pågældende pixel.

Temporal opløsning

NOAA satellitterne overflyver samme position to gang dagligt (nat og dag) og med to operationelle satellitter (en morgen- og en eftermiddagsoverflyvning) overflyves et område 4 gange i døgnet hvorfor chancerne for at få skyfrie billeder af et interesseområde er væsentligt større end ved de højopløselige satellitter (Landsat, SPOT etc.). På trods af den høje temporale opløsning forekommer der alligevel huller i dataserien. Disse skyldes primært skydække men også at de nordlige dele af Vestgrønland ikke er dækket på mange af de nedtagne billeder.

D.2.2 Billeddata

Hvert billede dækker området fra Disko i nord til Kap Farvel i syd (se Figur D.1, side 103). De anvendte billeder er nedtaget fra NERC Satellite Receiving Station i Dundee og udvalgt på baggrund af følgende prioriteringer:

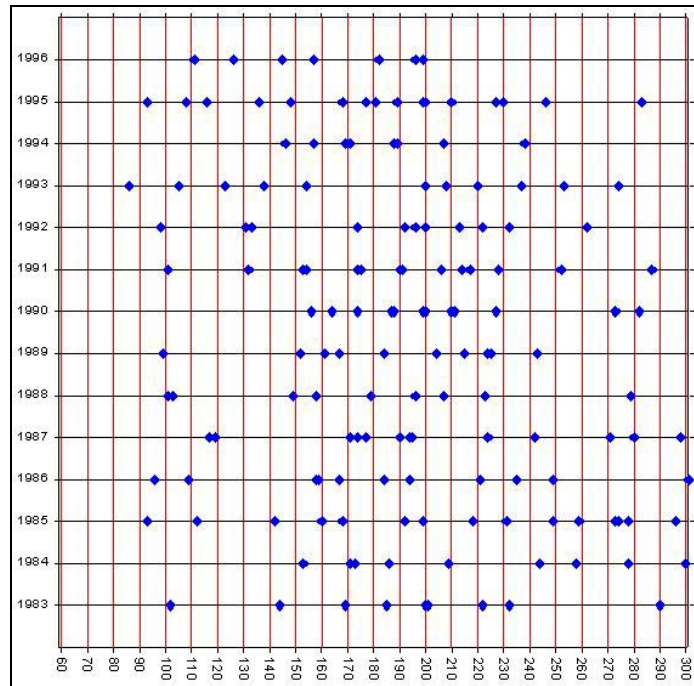
1. Så stor dækning af det aktuelle område som muligt
2. Mindst muligt skydække
3. Hovedområderne fra vegetationskortlægningen så tæt ved nadir som muligt
4. Størst mulig solhøjde

Temporal dækning

Minimum 10 scener fra hvert år skulle anvendes for at kunne modellere vækstsæsonen. Data fra omkring vækstsæsonens start, optimum af plantedækket og vækstsæsonens afslutning er særligt nødvendige, da en fastsættelse af specielt vækstsæsonens start er vigtig for analysen af vækstsæsonen. Der blev anskaffet i alt cirka 200 billeder fra perioden 1981 – 1996 som mere eller mindre opfylder de ovenstående krav til data. I Figur D.2 er vist hvilke dage der er anskaffet billeder fra.

Flere af billederne dækker ikke hele vestkysten eller også var der skydækket under overflyvningen. Mange billeder dækker endvidere Vestgrønland med høj *off-nadir* vinkel og kan derfor ikke anvendes. For nogle år var der kun få anvendelige data til rådighed. Endvidere er der år, hvor kun dele af vækstsæsonen er dækket. Således er starten af vækstsæsonen i 1988 og 1989 slet ikke dækket med billeder og slutningen af sæsonen i 1988 har et næsten 2 måneder stort hul i dataserien. I datasættet findes mange huller på op til 60 dage.

De cirka 200 AVHRR billeder er ikke fra samme satellit, men stammer fra NOAA 5, 6, 7, 9, 10, 11, 12 og 14. Da *post-launch* kalibreringsfiler for NOAA 5, 6, 10 og 12 ikke har været tilgængelige er der kun anvendt de 156 billeder fra NOAA 7, 9, 11 og 14.



Figur D.2 NOAA AVHRR billeder anskaffet og anvendt til retrospektiv analyse af snedække og vegetation på Grønlands vestkyst. Y-aksen angiver årstal, x-aksen: dagnummer, blå prik: ét billede. (efter Böcher, 1999).

Processering

Billederne er modtaget fra Asiaq som færdigprocesserede billeder med geometrisk oprettede billeddata og færdige temalag (albedo, snedække, NDVI, temperatur og skydække).

Præprocessering af billederne har inkluderet radiometrisk og geometrisk korrektion.

Radiometrisk korrektion

Den radiometriske korrektion er foretaget med *post-launch* formler publiceret af Rao og Chen (1998a og 1998b). Data fra de 4 forskellige satellitter er kalibreret, som beskrevet i afsnit D.3.1.1

Geometrisk opretning

Den geometriske korrektion er foretaget på grundlag af baneparametre for satellitten og en oprettet kystlinje. Billederne er oprettet til UTM zone 22 (WGS 84) med anvendelse af *nearest neighbour* resampling. Denne resampling tildeler en geometrisk oprettet pixel værdien for den nærmeste pixel i det uoprettede billede. Derved bevares de oprindelige radiometriske værdier i billederne og muliggør kvalitative analyser. Dimensionerne for billederne er angivet i Tabel D.2.

Tabel D.2 Koordinater for NOAA AVHRR billeddata i UTM zone 22 (WGS 84)

	Eastings	Northing
Øverste venstre hjørne	350.000	7.650.000
Nederste højre hjørne	1.051.000	6.599.000

D.2.3 Punktdata

For modellering af snesmeltning og vækstsæson var et så fuldstændigt datasæt som muligt nødvendigt. Dette var tilgængeligt gennem National Snow and Ice Data Center (NSIDC) i Boulder, Colorado, som under Polar Pathfinder projekt tilbyder gratis AVHRR data fra udvalgte positioner. Eneste (men væsentlige) forskel er at punktdata er i *Global Area Coverage* (GAC) opløsning og har derfor 5-km opløsning i modsætning til 1-km opløsning af HRPT dataene. GAC data anvendes primært til studier af global dækning hvor regionale studier anvender HRPT data. Processering af data ved NSIDC er ens for GAC- og HRPT data og studier af punktdata kan derfor anvendes som forstudie til en fremtidig analyse af hele Vestkysten med 1-km data fra NSIDC.

To positioner i henholdsvis Kangerlussuaq- og Nuukområdet blev udvalgt til analyse. Positionerne er vest for Kangerlussuaq ved Brayasøområdet og nord for Nuuk ved Narsarsuaq (I det følgende anvendes henholdsvis navnene Kangerlussuaq og Brayasø samt Nuuk og Narsarsuaq for de to lokaliteter). Punkterne blev valgt med henblik på at vegetationen skulle være så homogen og ensartet som muligt uden vand eller skygge i nærheden, som kunne forstyrre det spektrale mønster gennem året. I Tabel D.3 er positionerne for de valgte områder vist.

Tabel D.3 Positioner for punktdata fra NSIDC

	Længde- grad	Bredde- grad	Terræn- og vegetationstype
Brayasø v. Kangerlussuaq	-51,01549°	67,01879°	Relief: maks. 100 m., primært dværgbuskhede
Narsarsuaq-sletten nord for Godthåbsfjorden	-50,93887°	64,83978°	Relief: maks. 25 m., primært sparsom dværgbuskhede

Kalibrering

Kanal 1 og 2 er kalibreret ud fra *post-launch* kalibreringsværdier som publiceres af NOAA/NASA AVHRR Pathfinder Calibration Working Group. Kanal 3, 4 og 5 er korrigeret med ikke-lineære kalibreringsformler (Rao *et al.* 1998a).

Geometrisk opretning

Den geometriske opretning er foretaget ud fra baneparametre og giver en usikkerhed på omkring 2 km (NSIDC, 1999).

Processeringen af data, albedo, skyklassifikation, snedække etc. er foretaget med The Cloud and Surface Parameter Retrieval System for Polar AVHRR (CASPR) fra NOAA (Key, 2000). Programmet beregner såvel overfladetemperatur som albedo, skyparametre og ind- og udstråling. I appendiks H.9 er der vist et eksempel på hvilke data som er modtaget fra NSIDC.

D.3 Teori og metode

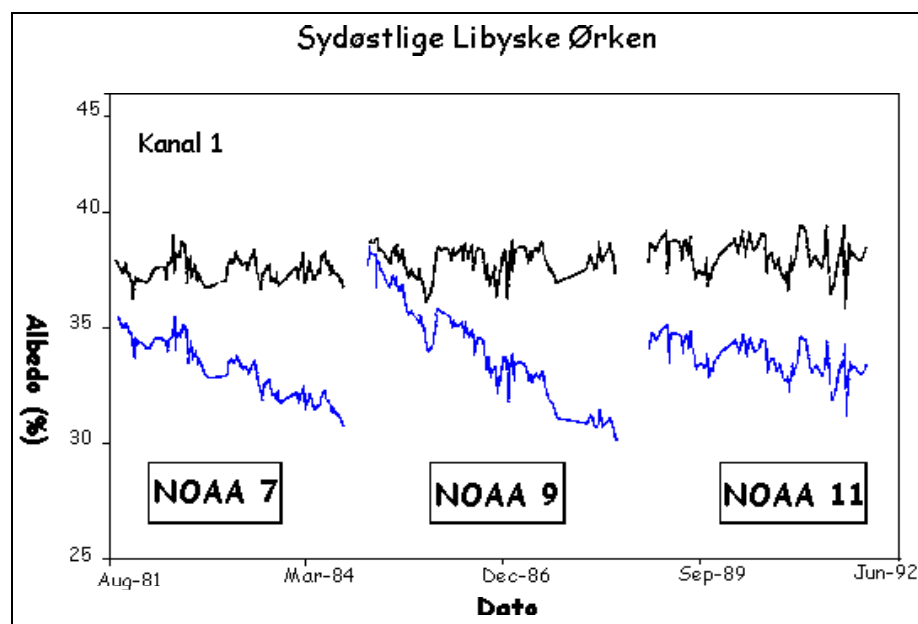
I det følgende beskrives metoden for den retrospektive sne- og vegetationsanalyse i Vestgrønland. Da en del af metoden kræver noget baggrundsviden er denne teori inkluderet, hvor det er fundet nødvendigt.

D.3.1 Præprocessering

D.3.1.1 Kalibrering

Kalibrering af data er af stor betydning ved anvendelse af data fra forskellige satellitter og for NOAA AVHRR data er der foretaget mange studier i korrekt kalibrering af data for at muliggøre tidsserieanalyser (hvor ændringer skyldes reelle ændringer på jorden og ikke i satellitten).

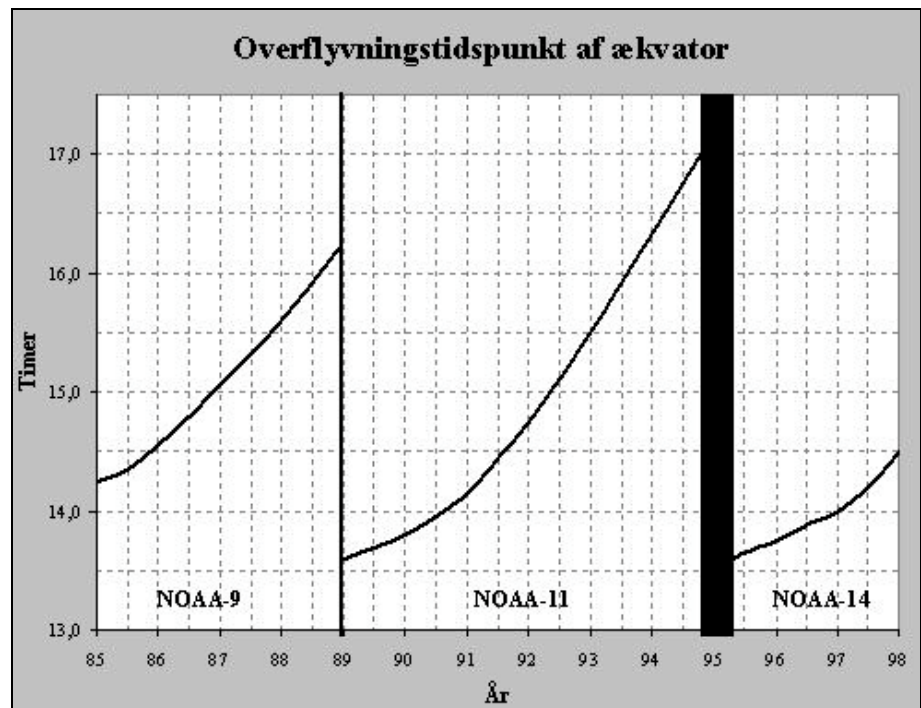
Før satellitten opsendes kalibreres sensoren og *pre-launch* kalibreringsdata publiceres. Denne kalibrering sker dog oftest et stykke tid før opsendelsen, og da specielt de kortbølgede kanaler ændrer følsomhed over tid svarer *pre-launch* værdierne ikke til de aktuelle værdier ved opsendelsen (Gutman, 1999).



Figur D.3 Sammenligning af AVHRR albedo ved brug af henholdsvis *pre-* og *post-launch* kalibrerings koefficienter. Sorte er med *post-launch*, blå er med *pre-launch*. (mod. fra Rao & Chen, 1995).

Endvidere foretages *post-launch* kalibrering på overflader med relativt stabile atmosfære- og reflektionsforhold. Forudsat den beregnede albedo ikke ændres (for overfladen) kan sensoren kalibreres og *post-launch* værdier offentliggøres. Rao og Chen (1995) viser i et studie fra den Libyske ørken forskellene på albedo beregnet på henholdsvis *pre-* og *post-launch* værdier (Figur D.3). Det ses tydeligt på figuren at *pre-launch* værdierne resulterer i en negativ trend i albedoværdierne for hver sensor. Ørkenoverflader er normalt meget stabile og ændres ikke væsentligt over en kortere årrække. *Post-launch* værdierne, som på tværs af sensorer, henfald etc. stadig producerer en albedo på samme niveau vil således give et væsentligt bedre resultat.

Andre faktorer end sensorhenfald spiller også ind i kalibreringsprocessen. Således sker der også ændring i satellitternes baner. I Figur D.4 er ændringen af overflyvningstidspunktet for ækvator vist for NOAA-9, -11 og -14.



Figur D.4 Ændring i overflyvningstidspunkt ved ækvator for NOAA-9, -11 og -14 eftermiddagsoverflyvning (efter Gutman 1999).

Et eksempel på fejltolkning grundet dårlig kalibrering kan findes i analysen fra Myneni *et al.* (1995) af NDVI på den nordlige halvkugle fra 1981-1992 hvor de påviser øget grønhed. Gutman (1999) har påvist at lokaloverflyvningstidspunktet ændrede sig over årene og at der ikke var taget hensyn til dette. Årsagen er at den synlige og infrarøde kanal er afhængige af solvinklen og dermed overflyvningstidspunktet, hvilket skabte mulighed for fejl i analysen. Gutman (1999) påviser således også, at der ved en ekstra korrektion for den varierende overflyvningstid faktisk ikke kan findes nogen trend i NDVI-udviklingen for den pågældende periode. I et nyt studie af dataene forlænget op til henholdsvis 1999 og 1994 kan Shabanov *et al.* (submitted) og Zhou *et al.* (submitted) trods den ekstra korrektion påvise en øget grønhed i Arktis.

En detaljeret gennemgang af kalibrering findes i blandt andre: Rao og Chen (1995), Rao og Chen (1999), Gutman (1999), Vermote og Kaufman (1995) og Cracknell (1997).

D.3.2 Maximum compositing

NDVI fra AVHRR har været hyppigt anvendt inden for studier af ændringer af vegetationsdække (specielt følger af globale klimaændringer) (e.g. Di og Hastings 1995, Gutman 1999, Gutman og Ignatov 1995, Myneni *et al.* 1998, Potter og Brooks 1998, Reed *et al.* 1994, Ricotta *et al.* 1999 og Running *et al.* 1994).

Hvorfor maximum composite?

NDVI er i de fleste tidsserie-studier anvendt i såkaldt *maximum composite*-form (fremover benævnt *composite*), hvor den maksimalt forekommende

NDVI-værdi indenfor en given periode er valgt til at repræsentere denne periode (Holben 1986). *Composite*-værdier anvendes i stedet for data fra hvert enkelt billede, da specielt effekter fra *off-nadir* optagelser med stor *view angle* og deraf følgende atmosfæriske problemer samt effekter fra skyer, solvinkel og skyggeeffekter forekommer i billederne. Holben (1986) viser i en detaljeret undersøgelse at subtropiske overfladetyper NDVI-værdier steg med lavere *view angle* (nær-nadir optagelser), aerosolkoncentration, og høj indkommende stråling. Han anbefaler derfor at udvælge den højeste værdi fra en given periode idet de lavere værdier antages at være resultatet af ovennævnte effekter.

Cihlar *et al.* (1994) viser at compositing baseret på NDVI bør foretages før eventuel atmosfærisk korrektion idet det ellers vil øge chancen for at anvende data, som er påvirket af BRD (*bidirectional reflectance distribution*) effekter.

Maximum composite anvendes i dette studie til en test af anvendelse af dels billeddataserien, som har en dataserie med store huller tilsvarende data ved længere *maximum composite* længder. Endvidere anvendes testen for at se om *maximum composite* kan anvendes ved analyser af placering af vækstsæsonens start og slut.

Længden af composite

Længden af den periode, hvorover der udtages maksimalværdi varierer i litteraturen fra 5 til 30 dage og afhænger af svingningerne i det mønster, der ønskes undersøgt. Holben (1986) nævner 6 ugers vækstsæsoner i Arktis og 8-måneders vækstsæsoner i Troperne som yderligheder.

Analyser af vækstsæsoners længde er afhængige af præcis bestemmelse af start og slut på vækstsæsonen. Ved *compositing* vil den anvendte værdi ikke nødvendigvis være et udtryk for den dag den er tillagt, men kan være udtryk for en værdi, der forekom før eller efter afhængigt af hvilken *composite*-længde som vælges.

Data fra årene 1982-1996 er testet for flere *composite*-længder (*composite* = 1, 5, 7, 10, 14 og 30). Testen og resultatet er diskuteret yderligere i afsnit D.4.2 nedenfor.

D.3.3 Beskrivelse af middelår ud fra billeddata

På baggrund af billeddata er der udarbejdet en oversigt over middelår for snedække og vegetation igennem vækstsæsonen fra 1983-1996.

Da de indkøbte billeddata (se Figur D.2, s.107) for de fleste år indeholder for store huller i starten og slutningen af vækstsæsonen har det ikke været muligt at foretage modellering, som nedenfor beskrevet. I stedet er billeder for alle år samlet i 10-dages perioder efter deres dagsnummer. I 10-dages perioden dag 211 til dag 220 er der således inkluderet data fra 1985, 1989, 1990, 1991, 1992 og 1993. Ved at samle årene på denne måde vil hele sæsonen være beskrevet med minimum et billede for hver 10-dages periode og dermed kan der genereres et bud på et middelår for hver pixel.

Middelår fra sne- og NDVI-data

Da alle billeder er anvendt til beregning af temalag som albedo, relativt snedække, NDVI, skydække etc. er det muligt at beskrive middelår for hver pixel ved gennemsnit af pågældende værdier indenfor hver 10-dages periode.

Gennemsnit foretages for NDVI værdier over 0.2 og for relativt snedække over 20% dækning. Billeder, der indeholder skyer eller ikke er dækket for pågældende pixel, bliver ikke inkluderet.

Da nogle perioder kun indeholder få år vil disse få en stor vægt på middelåret. Hvis der kun er et år i en periode og det tilfældigvis stammer fra en kort sæson, vil der kunne forekomme sneværdier langt ind i sæsonen på trods af at pågældende værdi mere var en yderlighed end en middelværdi.

D.3.4 Sneafsmeltning

Modellering af sneafsmeltning foretages på baggrund af albedoværdier. Beregningen af disse beskrives nedenfor, hvorefter modelleringen præsenteres.

D.3.4.1 Albedo

I flere studier af snedække anvendes albedoberegninger fra AVHRR kanal 1 eller 2 til estimering af snedække under den forudsætning, at albedo aftager lineært i takt med at snedækket mindskes (Hansen og Mosbech 1994, Jørgensen 1993, Stroeve *et al.* in press). Værdier over 0,75 antyder et fuldt snedække og værdier under 0,20 indikerer, at der ikke er noget nævneværdigt snedække tilbage indenfor den pågældende pixel. Winther og Hall (1999) viser hvordan albedoen varierer for forskellige smeltende sneoverflade ved tre snedækker (to tynde og en dyb) gennem afsmeltningsperioden. Forløbet varierer fra et stærkt næsten lineært fald for den tynde snedække til et mere komplekst s-formet fald for det dybe snedække.

For AVHRR dataene med såvel 25km² som 1km² store pixels vil albedoen under snesmeltingen udover afhængighed af underlaget også være en kombination af snefrie og snedækkede overflader (Winther og Hall, 1999). Sidstnævnte faktor antages at have størst indflydelse på albedoen og sammenhængen imellem snedække og albedo kan derfor forudsættes at være lineær (Andersen, 1982).

Albedoberegning for billed-data

Beregningen af albedoværdierne for billeddata er foretaget som et middel af kanal 1 og 2 refleksionsværdier. Kanal 1 og 2 er placeret i det kortbølgede spektrum og kan derved anvendes til albedoberegning. De resterende bånd, som vist i Tabel D.1 er langbølget stråling og kan derfor ikke anvendes til estimering af refleksion men kun til måling af emission. Billeddata er ikke atmosfærisk korrigeret da data til denne proces ikke var til rådighed for Asiaq.

Albedoberegning for NSIDC punktdata

Beregningen af albedoværdierne for punktdataene fra NSIDC foretages i fire trin (Key, 2000):

1. Konvertering af kanal 1 og 2 refleksion (henholdsvis 0.58 - 0.68 Tm og 0.725 - 1.10 Tm) til bredbåndet refleksion (0.4 – 2.5 Tm)
2. Korrektion af ydre atmosfærisk (TOA) bredbåndet refleksion for anisotropi
3. Konvertering af TOA bredbåndet refleksion til overflade bredbåndet albedo
4. Korrektion af overflade bredbåndet albedo for effekter af skydække over sne og is.

Stroeve *et al.* (in press) har i en sammenligning af albedoværdier fra *in situ* målinger og AVHRR data fundet, at de satellitbaserede albedoværdier i gennemsnit fra 14 stationer underestimerer den reelle albedo med 6%. I det følgende vil dette dog ikke have nogen betydning, når det forudsættes at underestimeringen er uafhængig af albedoniveaue.

Yderligere skydekning

For at sikre at der ikke inkluderes data fra områder med tyndt skydekke er der foretaget yderligere sortering af data efter albedoberegningen. Sorteringen godkender kun de beregnede albedoværdier til videre anvendelse hvis:

$$1.0 < \text{Kanal 4} - \text{kanal 5} < 1,8$$

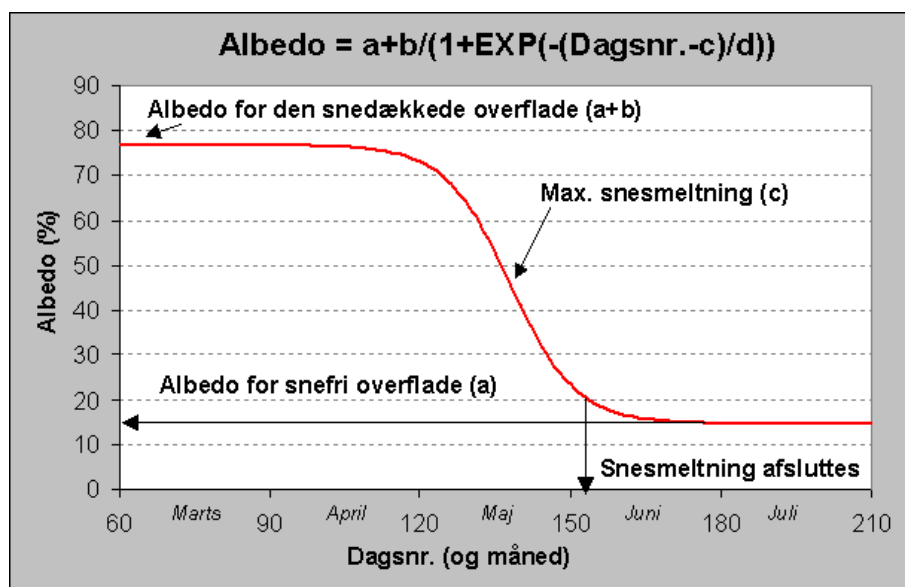
eller

$$2.0 < \text{Kanal 3} - \text{kanal 4} < 9$$

På grund af den store forskel mellem beregning af albedo for henholdsvis billeddata og punktdata kan umiddelbar sammenligning af værdier fra de to beregninger ikke foretages. Endvidere er de to datasæt også forskellig i opløsning, hvorfor værdierne af NSIDC data er et middel af flere overfladers refleksion end det er tilfældet for billeddata.

D.3.4.2 Modellering af punktdata

Albedoen anvendes til at estimere det relative snedække indenfor en pixel. I Figur D.5 er vist modelleringen af albedoværdierne ved anvendelse af en symmetrisk sigmoid kurve.



Figur D.5 Modellering af snesmeltning fra albedoværdier. Modellering anvender en symmetrisk overgangsfunktion, Sigmoid. Betydende parametre til beskrivelse af snesmeltningen er angivet på figuren.

Sigmoid overgangsfunktion

Modellering er foretaget med en symmetrisk sigmoid overgangsfunktion:

$$\text{Albedo} = a + \frac{b}{1 + \exp(-(\text{Dagsnummer} - c) / d)} \quad (\text{F } 15)$$

hvor a , b , c og d er henholdsvis albedoværdien for snefrie områder, springet i albedo (fra fuldt til intet snedække), dagsnummer for vendetangenten samt parameter for hældningen omkring vendetangenten (dagsnr.⁻¹). Modellen forudsætter et konstant snedække med ens albedo igennem vintersæsonen og en stabil albedo for vegetationsdækket i vækstsæsonen.

Hall og Martinec (1985) beskriver anvendelsen af et lignende udtryk, men de anvender istedet areal af snedække til at modellere afsmeltningen. Da modelleringen i dette studie netop forsøger at estimere graden af snedække indenfor en arealenhed (subpixel) er det nødvendigt at bruge andre parametre.

Den anvendte funktion er valgt ud fra en antagelse om at værdierne er relativt stabile før og efter snesmeltning samt at den pågældende funktion skulle være simpel og overskuelig. Dette har medført anvendelsen af ovenstående udtryk.

Beskrivende parametre

Til analyse af de individuelle år anvendes følgende parametre, som er baseret på modelleringen:

- Snesmeltningens start, S_{start}
- Snesmeltningens afslutning, S_{slut}
- Snesmeltningens længde, S_{lgd}
- Fuldt snedækkets albedo, A_{max}
- Intet snedækkets albedo, A_{min}

Da albedoen som nævnt ovenfor er en funktion af andelen af overfladetyper indenfor pågældende pixel er snesmeltningen defineret som startende ved albedo = 60% og afsluttende ved albedo = 20%. Valget af 60% for starten af snesmeltningen er taget for at muliggøre modellering af alle år. Nogle år har et meget sparsomt snedække hvilket medfører albedoværdier om vinteren på omkring 60%. 20% for S_{slut} er fastsat på trods af et lille yderligere fald i albedo. Det lille fald i albedo til værdier under 20% skyldes at enkelte snefelter stadig er tilstede i området, men antallet må antages at være lille og ubetydeligt for vegetationen generelt.

På baggrund af dagsnumrene for S_{start} og S_{slut} kan S_{lgd} beregnes. A_{max} og A_{min} tilsvarende henholdsvis $a+b$ og a i modellen.

D.3.5 Vækstsæsonen

Vækstsæsonen kan ikke direkte afbilledes fra satellitbilleder, men estimeres fra parametre som for eksempel vegetationsindeks (Myneni *et al.* 1998). Et af de mest anvendte er *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), som siden introduktionen af Rouse *et al.* (1973) gennem de sidste cirka 25 år har været anvendt til vegetationsanalyser.

D.3.5.1 NDVI

Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

NDVI er defineret i afsnit C.4.2.3 på side 58. For NOAA AVHRR anvendes kanal 1 for RED (refleksionen i det røde spektrum) og kanal 2 for NIR (refleksionen i det nærinfrarøde spektrum).

Som det var tilfældet med albedoberegningerne er også NDVI-data blevet sorteret yderligere efter beregning for at undgå anvendelse af data med tyndt skydække. Følgende kriterier har derfor været anvendt til at godkende NDVI data med før de er blevet anvendt i den efterfølgende modellering:

1. $0\% < \text{Albedo (skykorrigeret)} < 20\%$
2. Overfladetemperatur $> 273^\circ\text{K}$
3. Kanal 1 < 10
4. (Kanal 1 – kanal 2) < 0

D.3.5.2 Modellering af punktdata

NDVI er anvendt til at modellere vækstsæsonen med for årene 1982-1996 med undtagelse af 1984, 1993 og 1994, hvor et sammenhængende datasæt ikke var til rådighed.

Modelleringen er foretaget med en dobbel-logistisk funktion, som blev introduceret første gang af Fisher (1994) til modellering af vækstsæsoner for

landbrugsnationer. Modellen passer også til den generelle beskrivelse af en arktisk vækstsæson:

- Lavt ensartet niveau i NDVI ($< 0,01$) udenfor vækstsæsonen
- Hastig vækst til et maksimum og derefter aftagende igen
- Top-funktion, men med mulighed for en lang vækstsæson

og tidligere forslag til beskrivelse ved både lineære forhold og 2.gradspolynomier af vækstsæsonen er blandt andet givet i Lüdeke *et al.* (1996), Running *et al.* (1994) og Tamstorf og Hansen (in press).

Dobbel-logistisk funktion

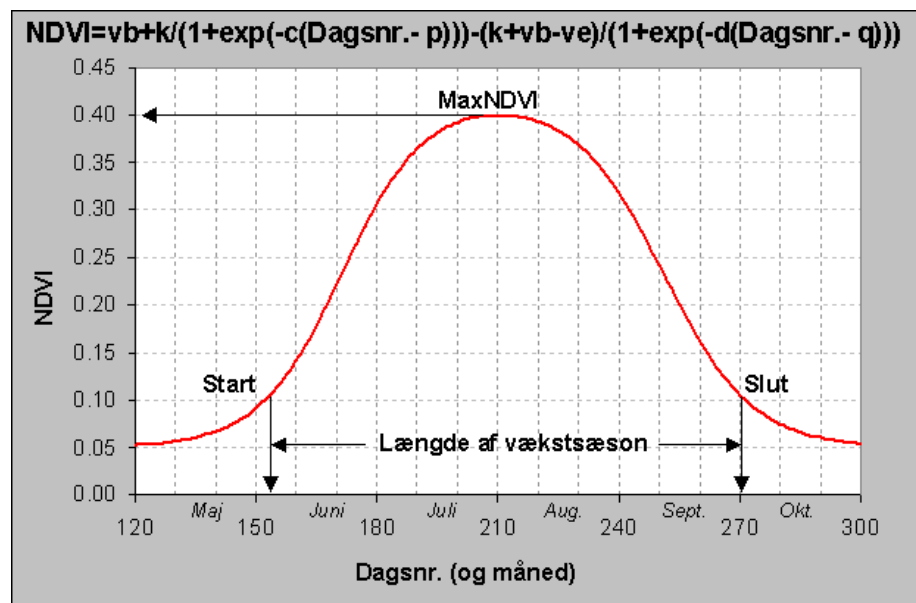
Den dobbel-logistiske funktion for NDVI og dagsnummer er defineret ved:

$$NDVI = vb + \frac{k}{(1 + e^{-c(t-p)})} - \frac{(k + vb - ve)}{(1 + e^{-d(t-q)})} \quad (\text{F } 16)$$

hvor vb og ve er niveauet af NDVI for henholdsvis før og efter vækstsæsonen. k er den høje asymptotiske værdi og giver således sammen med vb ($k+vb$) værdien af den maksimalt forekommende NDVI. p og q angiver dagsnummer, hvor vendetangenterne for modellen forekommer og c og d er relateret til hældningen ved de to vendetangenter og er udtrykt ved dagsnr.⁻¹.

Ved analyse af alle de tilgængelige data er vb og ve fastsat til 0.05. Reelt falder NDVI til under 0 ved første snefald, men da vb og ve relaterer sig til vegetationens NDVI og ikke sne er det en acceptabelt estimering.

I Figur D.6 er vist modellen for vækstsæsonen ud fra et dobbel-logistisk fit til NDVI.



Figur D.6 Eksempel på modelleret vækstsæson. Den dobbel-logistiske funktion er fittet til NDVI og dagsnummer. På figuren er angivet parametre for beskrivelse af sæsonen; MaxNDVI, sæsonlængde samt start- og slutdag for vækstsæsonen.

Beskrivende parametre

Analysen af de enkelte års vækstsæson baseres på følgende beskrivende parametre fra modellen:

- Dagsnr. for vækstsæsonens start, V_{start}
- Dagsnr. for vækstsæsonens afslutning, V_{slut}
- Vækstsæsonens længde, V_{lgd}

- Maksimalt forekommende NDVI, MaxNDVI
- Dagsnr. for MaxNDVI, DOY_{max}

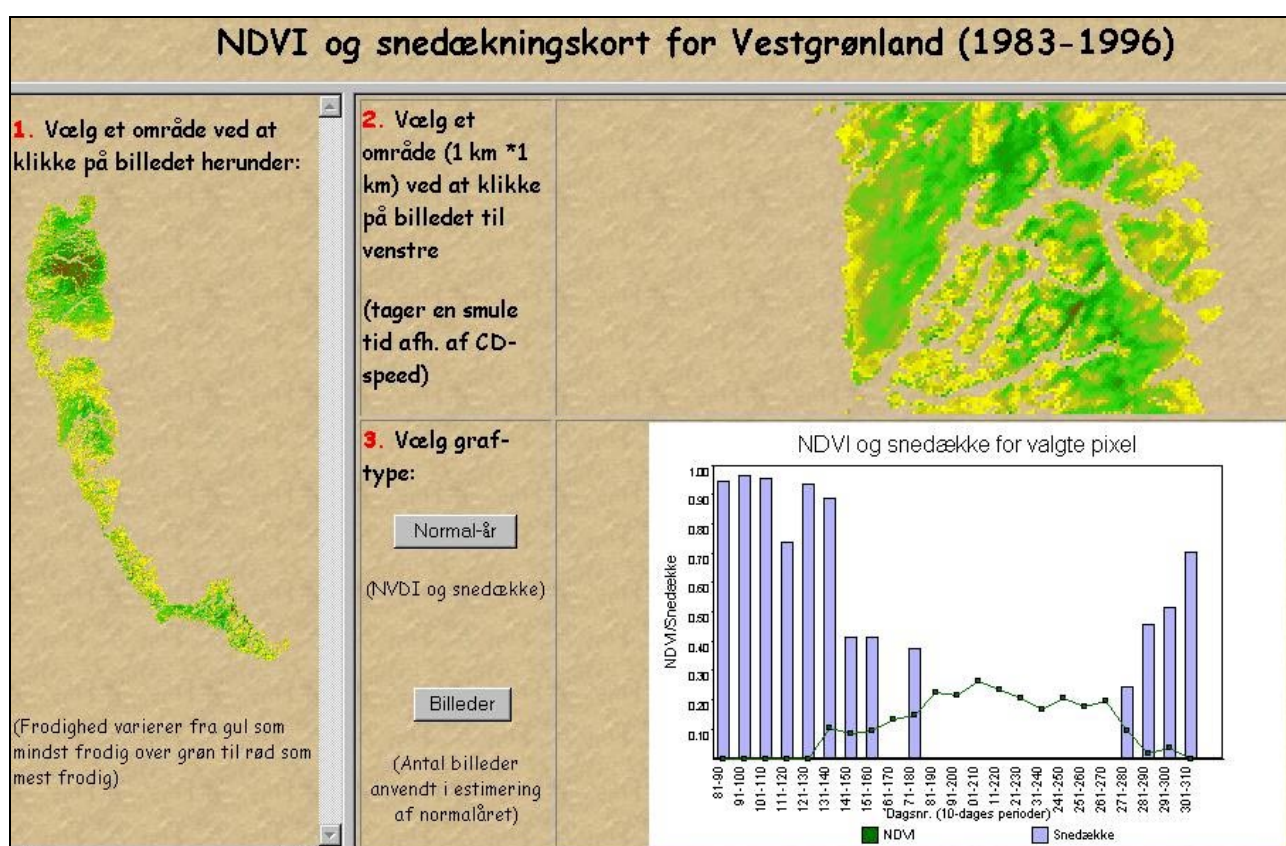
V_{start} og V_{slut} forekommer ved NDVI på 0.1. Valget af 0.1 som grænse er baseret på visuelle analyser af grafer for NDVI for alle vækstsæsonerne. Da niveauet for vegetation uden for vækstsæsonen er sat til 0.05 er det nødvendigt at have lidt mulighed for udsving i denne uden at det ”starter” en vækstsæson. V_{igd} beregnes på baggrund af V_{start} og V_{slut} . MaxNDVI er den maksimalt forekommende NDVIværdi i løbet af en vækstsæson og definerer maksimum af sæsonen på dagen DOY_{max} . MaxNDVI er, som nævnt i afsnit C.4.2.3, udtryk for grønheden af vegetationsdækket og dermed højt korreleret med frodigheden.

D.4 Resultater

Resultaterne af den retrospektive analyse præsenteres nedenfor. Først præsenteres resultatet af analysen af billeddata. Derefter præsenteres analyserne af punktdata først med testen af compositing og dernæst modelleringsresultaterne.

D.4.1 Middelår fra billeddata

Analysen af billeddata præsenteres i et program til at vise middelår af NDVI og snedække i vækstsæsonen. Programmet er programmeret efter bestilling (Lars Hansen, KU/GI), er inkluderet på den vedlagte Data-CD og ser ud som vist i Figur D.7.



Figur D.7 Program til præsentation af middelår for NDVI og snedække i vækstsæsonen i Vestgrønland. Forklaring findes i teksten nedenfor.

I det venstre vindue (1) ses hele det analyserede område ved et NDVI billede hvor frodigheden varierer fra lav (gul) over mellem (grøn) til høj (rød). I dette vindue udvælges et hovedområde, som derefter ses i det øverste højre vindue (2). Ved valg i vindue (1) vil der ”poppe” en advarsel om ActiveX op. Denne godkendes. Ved at trykke på forskellige pixels i vindue (2) vil grafen i (3) løbende opdateres. Grafen viser middel af NDVI (kurve) og snedække (søjler) for hver 10-dages periode. I venstre del af (3) kan man istedet for NDVI og snedække-grafen vælge at se hvor mange billeder, som har ligget til grund for beregningen af middelåret.

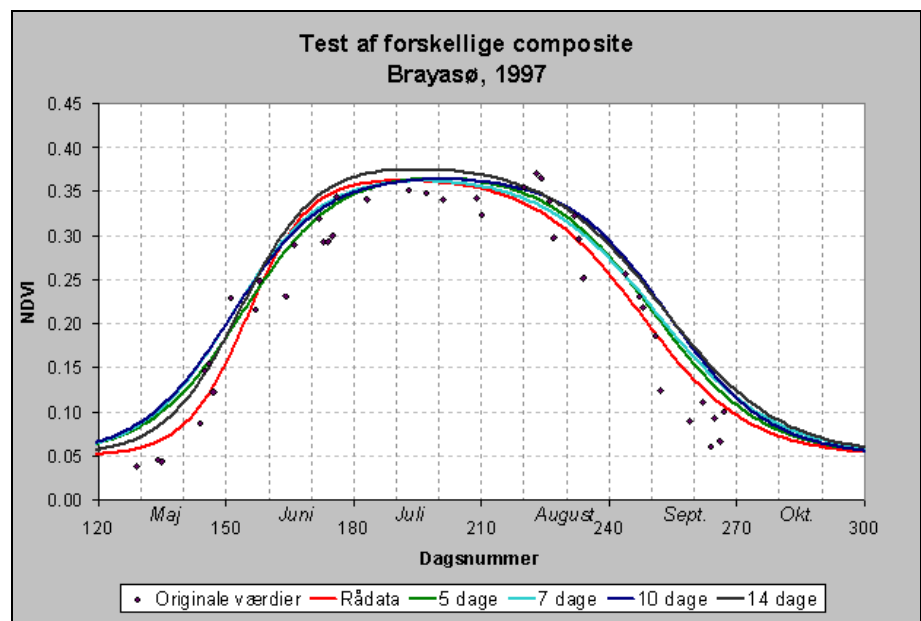
Grafen dækker vækstsæsonen fra dag 81 (22. marts) til dag 310 (6. november). Yderligere data indenfor hver 10-dages periode kan nemt tilføjes, idet de skal lægges i det respektive bibliotek i strukturen, som fremgår af Data-

CD. Alle billederne ligger til rådighed for analyser i biblioteket CD:/Html/Data/AVHRR/. I dette bibliotek findes også en lut, som kan anvendes i Chips sammen med de enkelte billeder.

D.4.2 *Maximum compositing*

Modellering af vækstsæsonen er for hver enkelt sæson ved Brayasø foretaget på basis af rådata og 5, 7, 10, 14 og 30-dages *composite*-længder. For de fleste år kunne modelleringen ikke gennemføres med 30 dages *composite*, da antallet af data dermed var for lille til et fit.

I Figur D.8 er der vist et eksempel fra 1997 af *composite*-længdens indflydelse på den modellerede vækstsæson. Eksemplet er typisk for resultaterne af analysen.



Figur D.8 Variation i vækstsæson som funktion af *composite*-længde. Eksempel fra lokaliteten ved Brayasø i 1997. Vist er også placeringen af alle rådata for sortering til de forskellige *composite*.

Som det kan ses af figuren varierer starten af vækstsæsonen (ved $NDVI=0.1$) med op til 9 dage afhængig af *composite*-længden. Tidligst er placeringen ved en *composite*-længde på 10 dage og senest er placeringen af starten ved anvendelse af rådata. I slutningen af sæsonen er forskellen imellem de estimerede dage en dag mindre. Her varierer den estimerede slutdag for vækstsæsonen med 8 dage imellem anvendelsen af rådata (tidligste afslutning) og 14 dages *composite* (seneste afslutning).

Ved vurdering af kurverne i Figur D.8 er det tydeligt at rådata giver det bedste fit af modelleringen for start og slut af vækstsæsonen og at de længere *composite*-længder giver et ringere fit. Samme konklusion kan drages ved analyse af de resterende vækstsæsoner. Anvendelse af *composite* vil medføre at vækstsæsonens start og slut ikke bliver ”trukket ned” på plads og at estimeringen af datoer for disse derfor varierer urealistisk med op til 3 uger i forhold til hvad rådata antyder.

På denne baggrund er det valgt ikke at anvende data med *maximum composite* i modelleringen.

D.4.3 Modellering

Modelleringen af snesmeltningen og vækstsæsonen ved Brayasø vest for Kangerlussuaq og Narsarsuaq nord for Nuuk fra 1982-1998 har resulteret i årlige parametre til beskrivelse af:

- Snesmeltningens start, slut og længde
- Vækstsæsonens start, optimum, slut og længde
- NDVI for vækstsæsonens optimum

Endvidere er albedo for henholdsvis fuldt snedække og snefrie overflader blevet anvendt til et estimat af en middel albedo for de to overflader på lokaliteterne.

D.4.3.1 Usikkerhed for modellering

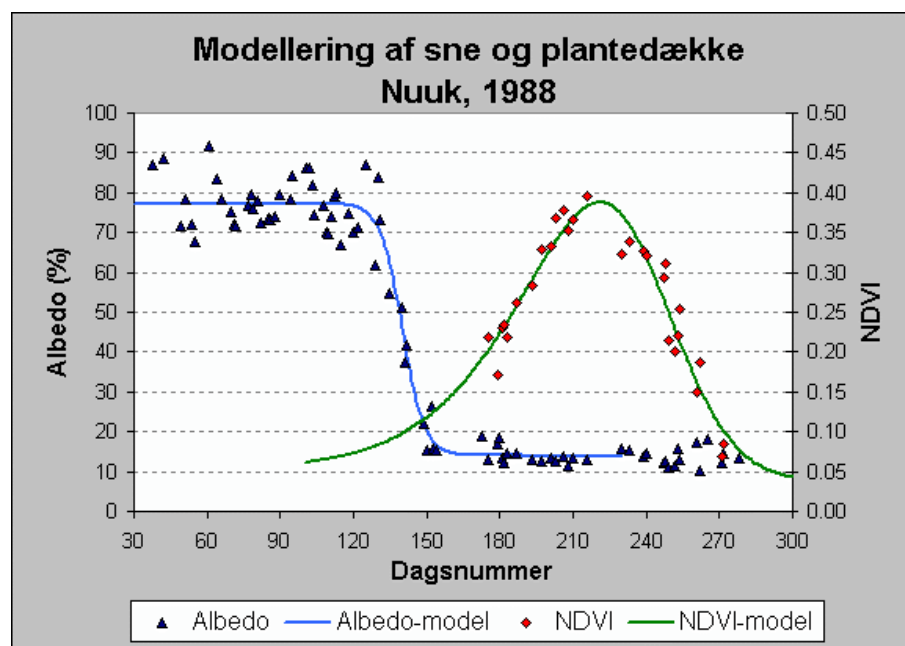
Alle modelleringer er blevet gennemført med en signifikansniveau på 99.9% eller bedre. Korrelationsværdier og R^2 for de enkelte år er vist i Tabel D.4.

Tabel D.4 Korrelationsværdier og antal datapunkter (pr. år) for modelleringerne. Værdierne er gennemsnit af alle årlige modelleringer ved lokaliteten (± 1 standard afvigelse).

		Brayasø (V. for Kangerlussuaq)	Narsarsuaq (N. for Nuuk)
Snesmeltning	R^2	0.95 ± 0.04	0.97 ± 0.02
	n	68 ± 19	77 ± 15
Vækstsæson	R^2	0.88 ± 0.06	0.91 ± 0.05
	n	34 ± 10	31 ± 11

D.4.3.2 Model-eksempler

For hvert år kan modelleringen af snesmeltningen og vækstsæsonen kombineres i et plot for at visualisere resultaterne. I Figur D.9 og Figur D.10 er modelleringen for henholdsvis Nuuk i 1988 og Brayasø i 1996 vist.

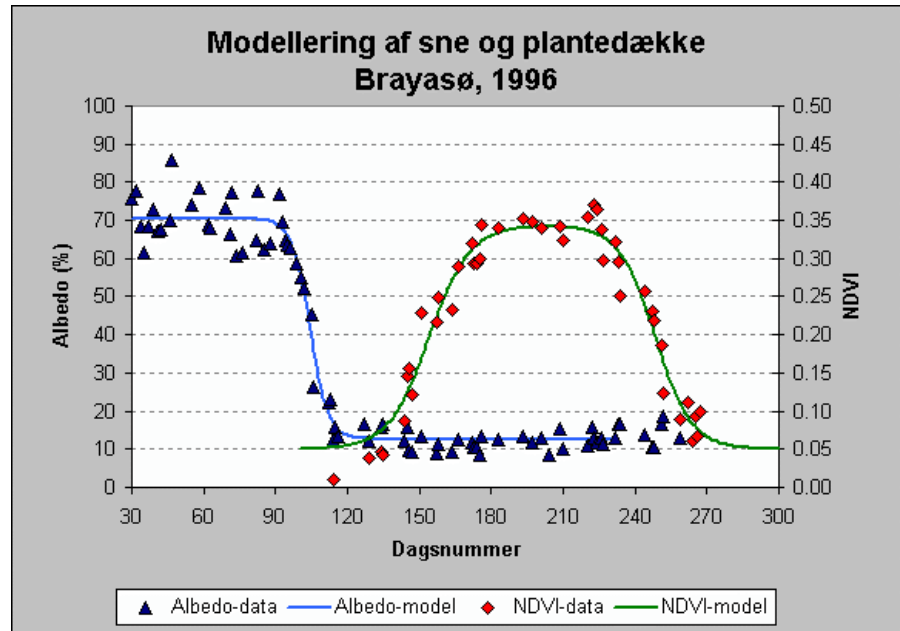


Figur D.9 Modellering af snesmeltning og vækstsæson baseret på albedo og NDVI fra daglige AVHRR data fra 1988. Eksemplet er fra en 25 km^2 pixel nord for Nuuk, hvor vegetationsdækket primært er lav dværgbuskhede og nedgræssede lavflader.

Den blå kurve angiver modellen for snesmeltningen baseret på albedodata (blå trekanter) og den grønne kurve angiver forløbet af vækstsæsonen og er baseret på NDVI data (røde cirkler).

Eksempel fra Nuuk, 1988.

I 1988 var der ved Narsarsuaq nord for Nuuk en relativ normal snesmeltningensperiode på 14 dage efterfulgt af en vækstsæson på 130 dage, der startede op inden al sneen var smeltet af (Figur D.9). Vækstsæsonen toppede normalt d. 9. august og sluttede sidst i september i 1988.



Figur D.10 Modelling af snesmeltning og vækstsæson baseret på albedo og NDVI fra daglige AVHRR data fra 1996. Eksemplet er fra en 25 km² pixel ved Brayasø nordvest for Kangerlussuaq, hvor vegetationsdækket primært er dværgbuskhede.

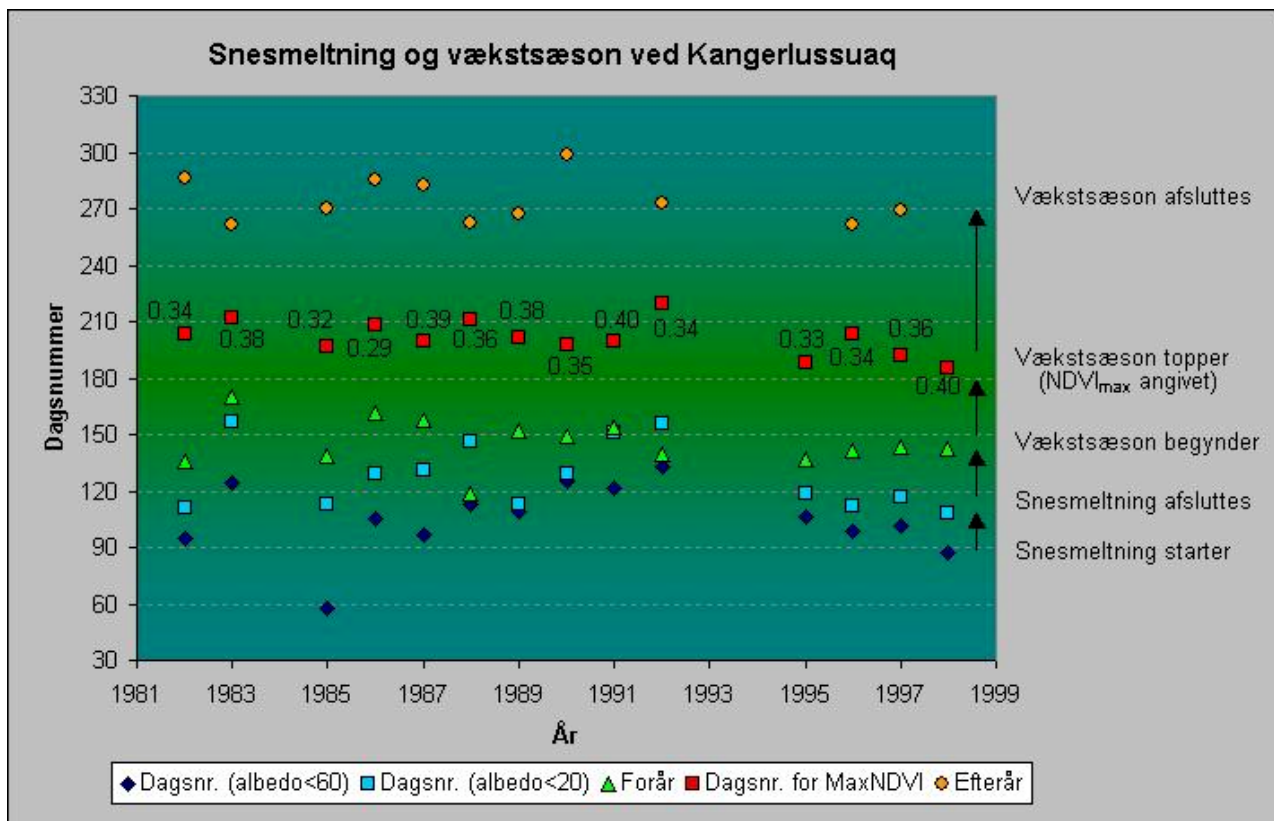
Eksempel fra Brayasø, 1996

I 1996 ved Brayasø var snesmeltningen kortere og tidligere end i forrige eksempel (Figur D.10). 13 dage skulle der til for at smelte al sneen bort inden 22. april. Vækstsæsonen var ligesom ved Nuuk i 1982 relativ lang tid om at starte op, men topper lidt tidligere på dag 203 (22. juli) og slutter på dag 261 (18. september), hvilket er næsten 2 uger tidligere end ved Nuuk i 1982. I modsætning til eksemplet fra Nuuk i 1988 når vækstsæsonen her hurtigt et topplan som holdes i relativt lang tid (ca. 6 uger).

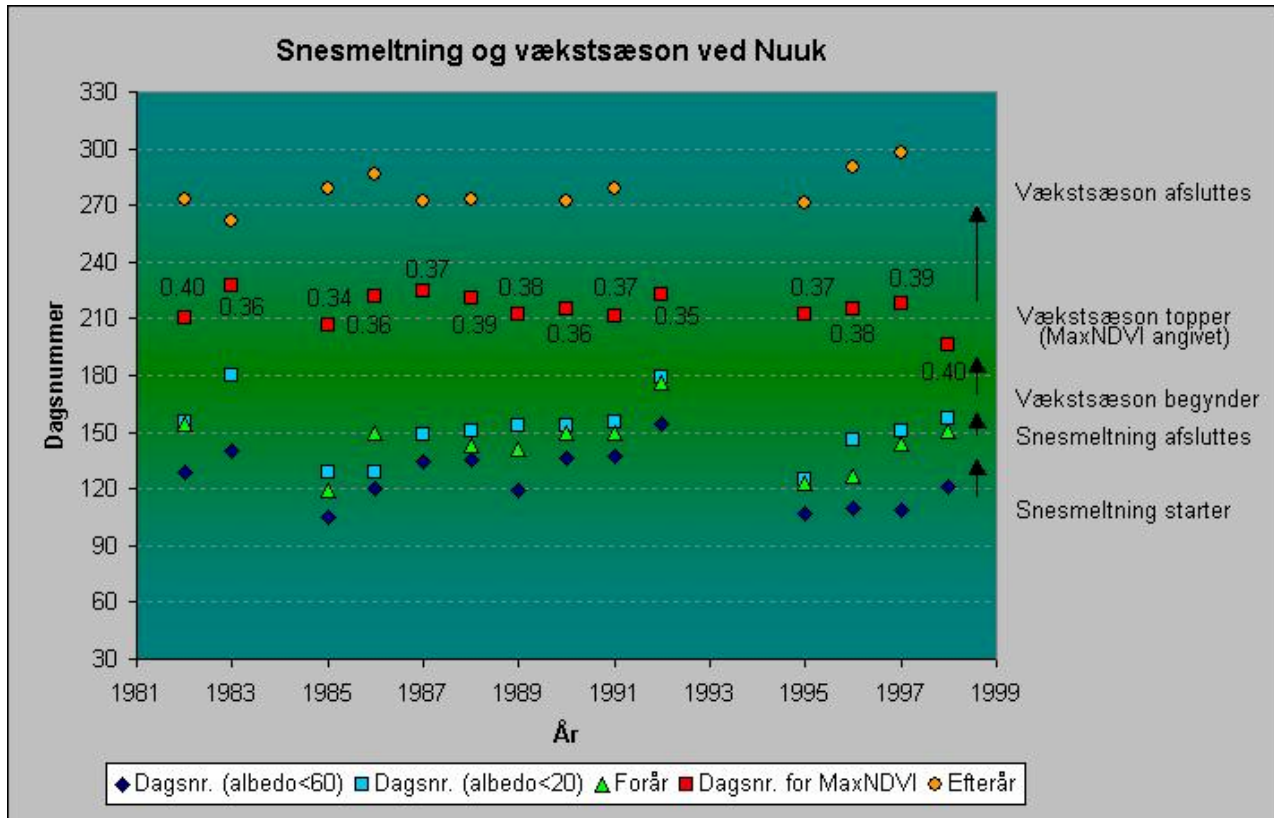
Det er vigtigt at sammenligning af sæsoner i forbindelse med analyse af forskellige års snesmeltning- og vækstforhold foretages for samme område. Som beskrevet i afsnit B.2.2 er klimaet i de to områder forskellige, hvilket bør tages i betragtning ved sammenligning imellem områderne.

D.4.3.3 Alle sæsoner

Beskrivelse af snesmeltningen og vækstsæsonen for alle årene er vist for de to områder i henholdsvis Figur D.11 og Figur D.12. I enkelte sæsoner er afslutningen af vækstsæsonen ikke blevet estimeret, idet antallet af data har været for få til at kunne give en dato for afslutningen. Sidste rådata for modelleringen af vækstsæsonen i Nuuk i 1989 var på dag 246 med en NDVI på 0.31. Ved så høje slutværdier har modellen ikke mulighed for at blive trukket ned til en realistisk slutdato og denne antager istedet værdier over 300. Hvor dette er tilfældet er disse derfor udeladt af analyserne (gælder for Nuuk i '91, '95 og '98 og for Kangerlussuaq i '89, '92 og '98).



Figur D.11 Resultatet af alle fit for Brayasøområdet vest for Kangerlussuaq. Figuren viser dagsnummer for start og slut af snesmeltning, vækstsæsonens start, optimum med MaxNDVI samt dag for vækstsæsonens afslutning.



Figur D.12 Resultatet af alle fit for Narsarsuaqområdet nord for Nuuk. Figuren viser dagsnummer for start og slut af snesmeltning, vækstsæsonens start, optimum med MaxNDVI samt dag for vækstsæsonens afslutning.

D.4.3.4 Middelår

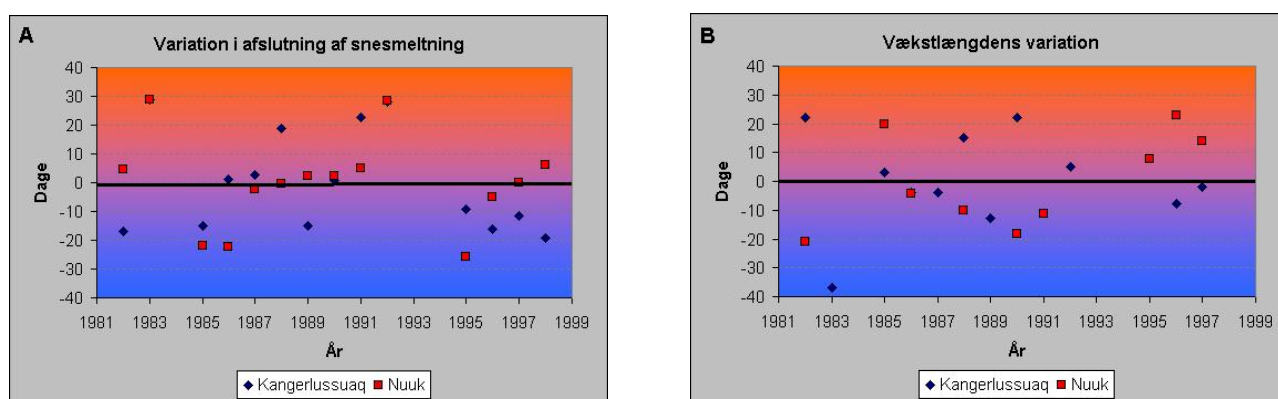
På baggrund af modelleringerne af snesmeltning og vækstsæson i perioden 1982-1998, kan der udarbejdes et middelår for de to områder. Værdierne for middelårene ved Brayasø og Narsarsuaq er vist i Tabel D.5.

Tabel D.5 Middelår (± 1 standard afvigelse) for de modellerede parametre ved henholdsvis Brayasø vest for Kangerlussuaq og Narsarsuaq nord for Nuuk i perioden 1982-1998.

	Brayasø	Narsarsuaq
Snesmeltningens start	105 \pm 19 dage	126 \pm 15 dage
Snesmeltningens afslutning	128 \pm 18 dage	151 \pm 16 dage
Albedo for fuldt snedække	73.0 \pm 6.0%	75.0 \pm 3.2%
Vækstsæsonens start	146 \pm 13 dage	144 \pm 16 dage
Vækstsæsonens afslutning	274 \pm 12 dage	278 \pm 10 dage
Vækstsæsonens længde	128 \pm 17 dage	140 \pm 17 dage
Tidspunkt for optimum	201 \pm 9dage	215 \pm 8 dage
MaxNDVI (v. optimum)	0.36 \pm 0.03	0.37 \pm 0.02
Albedo for snefri overflade	13.2 \pm 1.1%	13.7 \pm 1.1%

D.4.3.5 Variation fra normalen

De modellerede data kan udover en beskrivelse af den enkelte sæson også anvendes til analyse af sæsonens afvigelse fra normalen (middel for den analyserede periode). En sådan analyse kan foretages på alle parametre, men i denne analyse er det valgt kun at fokusere på variationen i tidspunkt for afslutningen af snesmeltning og på variationen i vækstsæsonens længde.



Figur D.13 Præsentation af årenes afvigelser. A: Afslutning af snesmeltning, B: Længde af vækstsæson.

I Figur D.13 er eksempler for afvigelsen af afslutning af snesmeltning og vækstsæsonens længde fra normalen vist. Afvigelse er vist som dage fra normalen i negativ og positiv retning. For Figur A er afslutningen af snesmeltningen vist. En placering under normalen (vandret linie) er en tidligere afsmeltning end normalt og over normalen er senere afsmeltning. Som det kan ses er variationen stor med afvigelser på op til 1 måned før og efter normalen. Specielt ved Nuuk (røde firkanter) er afvigelserne størst med '83 og '92 som meget sene afsmeltninger, og '85, '86 og '95 som meget tidlige afsmeltninger. Ved Kangerlussuaq er det også '83 og '92 som er afsmeltet meget sent omkring 30 dage efter normalen (halvt skjult under de røde firkanter) mens de fleste afvigelser med tidligere afsmeltning ligger cirka 15 dage under normalen.

Figur B har et lignende spredt mønster for afvigelser af vækstsæsonens længde fra normalen. 1983 ved Kangerlussuaq falder dog ud med en ekstremt kort vækstsæson på 91 dage. I forhold til de øvrige har den over tre uger kortere vækstsæson end den næst-korteste og hele 2 måneder kortere vækstsæson end den længste sæson i den undersøgte periode.

En vurdering af hver af vækstsæsonernes parametre i forhold til normalen kan foretages og tildeles. I Tabel D.6 og Tabel D.7 er tidspunkt for afsmeltning, vækstlængde, tidspunkt for optimum og frodighed vurderet for hver sæson og det er angivet om parameteren for det år antyder en positiv eller en negativ indflydelse på vegetationens generelle udvikling.

Tabel D.6 Vurdering af parametrenes betydning for vegetationsdækket ved Brayasø vest for Kangerlussuaq i 1982-1998. Grøn (+) antyder fordele for vegetations udvikling og gul (-) antyder negativ indflydelse på vegetations udvikling i forhold til normalen. S er sent optimum og T er tidligt. ? er angivet hvor modellen ikke har kunnet estimere vækstlængden.

Kangerlussuaq	Afsmeltning	Vækstlængde	Tidspunkt for optimum	Frodighed
1982	+	+	S	
1983	-	-	S	
1985			T	-
1986		-		-
1987		-		+
1988		+	S	
1989		-		
1990		+	T	
1991	-	?		+
1992	-			
1995		?	T	-
1996	+	-		
1997			T	
1998	+	?	T	+

Tabel D.6 viser vurdering af disse parametre for Brayasøområdet ved Kangerlussuaq. Grønt + antyder at pågældende parameter har været gunstig for vegetationens udvikling, hvorimod et gult – antyder at parameteren har været dårlig for vegetationens generelle udvikling. 1983 viser sig, som det blev antydnet ovenfor, for de fleste parametre, som et dårligt år for vegetationen ved Brayasø. Kun frodigheden ved optimum af sæsonen var relativt normal. Specielt 1998 fremstår som en meget god sæson for vegetationen. Her var der en tidlig afsmeltning og et tidligt optimum med højere frodighed end normalt.

Lignende analyse ses i Tabel D.7 for Narsarsuaqområdet ved Nuuk. Specielt '92 står ud fra de andre med både sen afsmeltning og lav frodighed, hvorimod 1996 ved Nuuk var et godt år for vegetationen. Her var vækstlængden længere end normalt og frodigheden højere.

Table D.7 Vurdering af parametrene betydning for vegetationsdækket ved Narsarsuaq nord for Nuuk i 1982-1998. Grøn (+) antyder fordele for vegetations udvikling og gul (-) antyder negativ indflydelse på vegetations udvikling i forhold til normalen. S er sent optimum og T er tidligt. ? er angivet hvor modellen ikke har kunnet estimere vækstlængden.

Nuuk	Afsmeltning	Vækstlængde	Tidspunkt for optimum	Frodighed
1982		-		+
1983	-	?	S	
1985	+	+		-
1986	+		S	-
1987			S	
1988			S	+
1989		?		
1990		-		
1991				
1992	-	?	S	-
1995	+			
1996		+		+
1997				+
1998		?	T	+

D.5 Diskussion og opsummering

Modellering og præsentation af sne- og vegetationsdække baseret på NOAA AVHRR er vist ovenfor. I det følgende vil metoderne og resultaterne blive diskuteret nærmere med henblik på at give læseren mulighed for at anvende disse i forbindelse med for eksempel forvaltning af naturressourcer i Vestgrønland.

D.5.1 Præsentation af middelår fra billeddata

Billeddata er blevet anvendt til at generere middelår for hele Vestgrønland i en opløsning på 1 km². Resultatet er præsenteret på vedlagte Data-CD og der er mulighed for at udvide datasættet med nye data indenfor de fastlagte 10-dages perioder.

Metoden er god til at give et hurtigt overblik over sne- og vegetationsdækket på Vestgrønland indenfor en periode, hvor kun få årlige data er til rådighed. Nogle perioder indeholder kun få data og disse vil derfor ikke være et udtryk for en middelperiode, men i stedet pågældende års værdi. Umiddelbart vil det heller ikke være muligt at undersøge hvilke år, som afveg fra normalen i enten positiv eller negativ retning.

Metoden blev udviklet til præsentation af de data, som var indkøbt af Asiaq og kan hjælpe til at give et overblik over forskelle imellem områder. En lignende løsning med bedre datagrundlag og anvendelse af modelleringen, som er præsenteret ved punktdataene i denne analyse vil derfor være muligt i fremtiden.

D.5.2 *Maximum composite*

Maximum composite blev udviklet til at frasortere data med blandt andet høje *off-nadir view-angles*, skydække og generere skyfrie scener på baggrund af flere scener med delvist skydække (Holben, 1986). Siden da har metoden været vidt udbredt ved studier af tidsserier af NDVI. Typisk er *composite*-længden sat til 10 eller 14 dage og medfører, at man ved tidsserie analyser kun har to eller tre datapunkter til rådighed for hver måned (Potter og Brooks 1998, Teillet *et al.* 2000).

I forbindelse med undersøgelser af vækstsæsonen i Vestgrønland varierer længden af vækstsæsonen fra 3 til 4 måneders længde for en gennemsnitssæson. Da tidspunktet for opstart af sæsonen og længden af vækstsæsonen er vigtig for analyser af vegetationsændringer, klimaændringer etc. er det også vigtigt at et givent datasæt har en opløsning, som er tilstrækkelig for at monitorere ændringer i de pågældende parametre. Effekten af forskellige *composite*-længder blev testet på baggrund af data for perioden 1982-1998, og det blev fundet at det bedste resultat kom fra anvendelse af alle data uden brug af *composite*. Anvendelsen af *composite* blev vurderet til at give for stor usikkerhed i bestemmelsen af start og afslutning af vækstsæsonen. Hvis data yderligere har gennemgået en sortering i forhold til *view-angle*, skydække etc. kan de anvendte tidsserier antages at være udtryk for de korrekte værdier. Hope *et al.* (1999) har endvidere fundet at NDVI er relativt stabilt i forhold til tyndt skydække; specielt for vegetation med værdier over 0.5, men foreslår et skyindeks til anvendelse på data for at sikre skyfrie data. Data til

dette har dog ikke været tilgængelige i dette studie hvorfor den ekstra skykorrektion i afsnit D.3.4.1 og D.3.5.1 er blevet anvendt.

D.5.3 Modellering af punktdata

Modelleringen af snesmeltning og vækstsæson er foretaget på 2 lokaliteter med en rumlig udstrækning på 25 km². På trods af den lille rumlige opløsning er data anvendt til udvikling, og test af modellerne og med et signifikansniveau på 99,9% eller bedre og R² værdier over 0.85 er det sket med stor succes. Det er vist, hvordan data kan analyseres og anvendes til beskrivelse og sammenligning af områdets snesmeltning og vækstsæson.

D.5.3.1 Valg af snesmeltningsmodel

Valget af en sigmoid model er baseret på de bredt anvendte afsmeltningskurver, som er baseret på arealudbredelsen af snedække (Hall og Martinec, 1985). Ved visuel analyse var det dog tydeligt at afsmeltningen indenfor en pixel (subpixel) forårsagede samme kurveform, som for albedoens fald i forbindelse med afsmeltning. Data blev derfor fittet til en symmetrisk sigmoid funktion, som præsenteret i afsnit D.3.4.2.

Ved anvendelsen af denne model er det altså muligt at modellere graden af snesmeltning på subpixel-niveau og dermed muliggøre mere detaljerede snesmeltningsstudier, hvor fokus kan ligge på små områder i modsætning til andre metoder, hvor større arealer skal anvendes.

D.5.3.2 Anvendelse af snesmeltningsparametrene

Den modellerede snesmeltning kan anvendes til at beskrive den enkelte sæson. Beskrivelse af foråret er væsentligt for vegetationen, idet tidspunktet for snesmeltningen er med til at afgøre, hvornår og hvor længe vegetationsdækket har til at gennemføre deres reproduktionscyklus (Lægaard, 1981). År, hvor snesmeltningen rækker langt ind i den normale vækstsæson (f.eks. 1983 og 1992 ved begge lokaliteter) vil vegetationen have mindre tid og nogle planter vil måske ikke kunne gennemføre deres cyklus. Ved flere på hinanden følgende sæsoner af denne type, kan det medføre en væsentlig ændring i vegetationen.

D.5.3.3 Valg af vækstsæsonmodel

Ved valg af datagrundlag og model til modellering af vækstsæsonen var det vigtigt at funktionerne skulle kunne modellere de nævnte parametre til beskrivelse af vækstsæsonen, og at den valgte funktion var relativt enkel i sin opbygning og forståelse.

NDVI

NDVI er et bredt anvendt vegetationsindeks, som har været brugt i blandt andet Arktis til modellering af biofysiske parametre som *leaf area index*, biomasse, primær produktion, klorofylindhold, CO₂ etc. (Cohen 1991, Franklin *et al.* 1997, Jacobsen og Hansen 1999, Lüdeke *et al.* 1991, Markon *et al.* 1995, Shippert *et al.* 1995, Stow *et al.* 1998, Tucker og Sellers 1986). Det er derfor oplagt at anvende NDVI til modelleringsstudier for vækstsæsoner i Grønland. NDVI har endvidere været anvendt i mange studier af tidsserier af vegetationsdækket og Teillet *et al.* (2000) har da også NDVI med i deres opsummering af globale NOAA AVHRR datasæt.

Modeller

Tidligere har der været gjort forsøg med 2.gradspolynomier, som modelleringsfunktion (Tamstorf og Hansen, in press), hvor NDVI data over 0.05 anvendes til modellering af vækstsæsonen og parametre som start, slut, længde og optimum af vækstsæsonen.

Forsøg har endvidere været gjort med en gaussisk funktion på samme kriterier, som nævnt ovenfor. Denne funktion er dog en udpræget top-funktion og muliggør derfor ikke modellering af lange vækstsæsoner, hvor NDVI ligger relativt stabilt over 1-2 måneder på midten af sommeren.

Lüdeke *et al.* (1996) præsenterer en model til beskrivelse af udviklingen i vegetationen over hele år og anvender en tre-delt model baseret på månedlige NDVI data. Modellen anvendes for løvskov til at estimere blandt andet tidspunkt for bladsætning og er en del af *Frankfurt Biosphere Model*. Tre-delningen anvender en flad, lineær NDVI om vinteren med stejl lineær vækst i foråret, som toppe hurtigt og aftager konvekst (større fald mod slutningen af sæsonen) mod vinterperioden.

Markon *et al.* (1995) anvendte 14 dages *maximum composite* fra NOAA AVHRR 1991 sæsonen til at bestemme vækststart, -optimum, -slut og -længde i Alaska. MaxNDVI blev også bestemt. Tidspunkt for vækststart og -slut blev sat til den periode, hvor NDVI overstiger 0.09. Hermed kunne kort til beskrivelse af fænologien i Alaska produceres.

Fisher (1994) introducerede den dobbel-logistiske model, som også er anvendt i dette studie. Modellen anvendes på NOAA AVHRR HRPT data over landbrugsarealer i Frankrig til først at beskrive to forskellige typer vegetation (sommer- og vinterafgrøder), og dernæst at kombinere disse i en analyse af fordelingen af disse på subpixel-niveau.

Følgende argumenter blev anvendt ved valget af den dobbel-logistiske model til modelleringen af vækstsæsonen ved de to lokaliteter i Vestgrønland:

- Godt fit til de anvendte data (bedre end alle tidligere testede)
- Ikke følsom over for mindre perioder uden data
- Relativ enkel formel med konstanter, som kan anvendes direkte i vurdering af vækstsæsoner

D.5.3.4 Anvendelse af vækstsæsonmodel

Vækstsæsonmodellen er blevet anvendt til at modellere vækstsæsonen for individuelle år i perioden fra 1982-1998 på baggrund af NOAA AVHRR GAC data. Output fra modellen inkluderer dels en grafisk præsentation af vækstsæsonen og dels bestemmelse af parametre for start, slut, længde og optimum af vækstsæsonen. MaxNDVI for optimum er også bestemt. Parametrene kan kombineres dels for en analyse af forskelle imellem sæsoner og dels for beregning af et middelår for pågældende position.

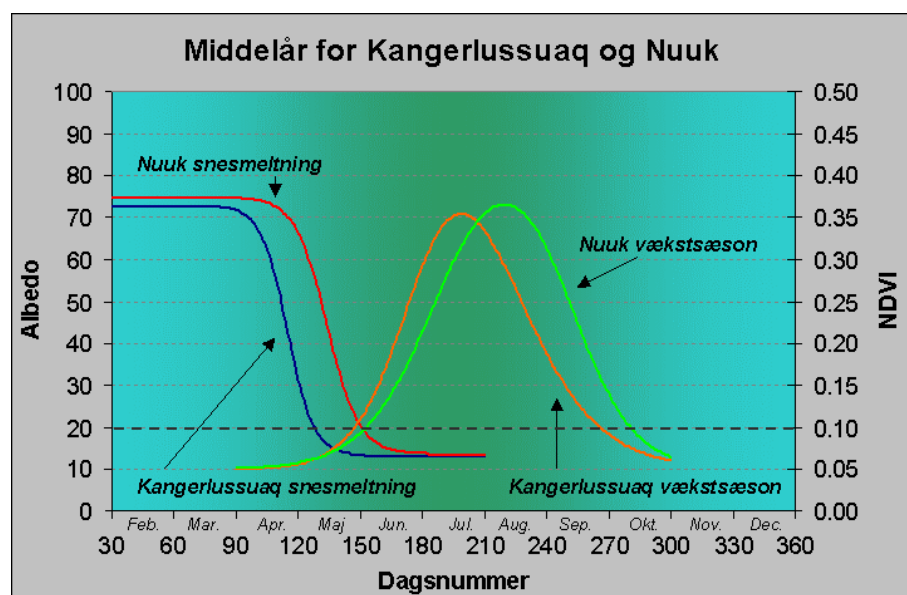
Problemer med mixels

Da modelleringen er foretaget på GAC data (25 km²) kan vegetationen indenfor hver pixel ikke ventes at være homogen (mixel). Endvidere vil mange søer, snefelter og klippeoverflader også være til stede indenfor pixelen. Dette vil være med til at nedbringe niveauet af NDVI, hvorfor værdierne ikke er sammenlignelige med NDVI værdier fra HRPT data (1 km²). Ved bestemmelse af vækstsæsonens start og slut har størrelsen af pixelen ligeledes indflydelse. Flere snefelter indenfor en pixel vil medføre at vegetationstyper ved disse smelter sent fri og derfor har en anden sæsonprofil end det, som fremkommer ved modelleringen.

Hvis der vælges en højere rumlig opløsning vil antallet af forskellige vegetationstyper indenfor en pixel nedsættes. Da modellen kræver en relativ høj hyppighed af data kan højopløselige data (f.eks. Landsat og SPOT) ikke anvendes. Istedet vil metoden nemt kunne overføres til NOAA AVHRR HRPT data. Disse data har en 1 km² opløsning og vil således give et godt overblik ved regionale analyser.

D.5.3.5 Generelt om resultaterne

Resultaterne for de to lokaliteter viser forskel dels imellem årene, men også imellem lokaliteterne. I Figur D.14 er de producerede middellår for hver lokalitet grafisk præsenteret.



Figur D.14 Middellår for lokaliteterne ved Kangerlussuaq og Nuuk. Blå og rød angiver snesmeltning og orange og grøn angiver vækstsæsonen for henholdsvis Kangerlussuaq og Nuuk.

Spredningen i resultaterne af analysen er så stor at der ikke er tale om et normalår, men mere om et middel af resultater fra en årrække. For at definere et egentligt normalår skal datasættet dække en længere årrække. Indenfor klimatiske analyser anvendes således også 30 som basis for normalår.

Hele middelsæsonen med snesmeltning og vækstsæson starter senere ved Nuuk end ved Kangerlussuaq, som ligger mere kontinentalt. I Nuuk er nedbøren større og snedækket som skal smeltes bort derfor tykkere. Dette medfører at vegetationen kommer senere i gang i Nuuk området end tilfældet er længere mod nord.

Hvor der ved Kangerlussuaq typisk går 2-3 uger fra snesmeltningen er afsluttet til vegetationen starter, er vækstsæsonen ved Nuuk i gang allerede før de sidste store snefelter er væk. Forskellen hertil kan skyldes at snedækket i Kangerlussuaq er meget tyndt, og at der kun skal få dage med plusgrader til for at det smelter bort, selvom frostgrader stadig forekommer i ugerne efter at sneen smeltede bort. Ved Nuuk kræver smeltningen af de tykkere snedækker længere perioder med varme temperaturer, og i løbet af denne proces, er sommeren så fremskreden at frost kun forekommer sporadisk.

For at drage egentlige konklusioner om forskelle i de to områder anbefales det at modelleringerne foretages dels med højere opløsning (1 km²) og dels over flere pixels, så usikkerheden ved søer, vand og store snefelter indenfor det analyserede areal mindskes.

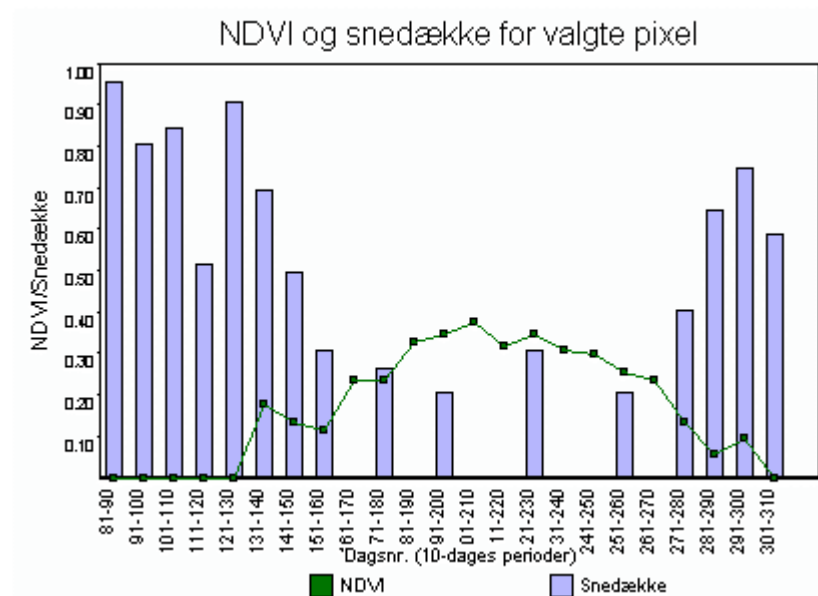
Ændringer i vegetationen

Over den analyserede 18 års periode er der ingen synlige trends i de estimerede parametre. Variationen er til gengæld meget stor imellem de enkelte år og klimasvingninger over så kort en periode vil ikke være synlige i de pågældende områder.

Til analyse af eventuelle ændringer i vegetationsdækket vil en sammenholdt analyse med andre påvirkninger endvidere være at foretrække, idet ændringer både kan forekomme som konsekvens af klimaændringer, men også af græsning eller antropogen påvirkning.

D.5.4 Anvendelse af billeddata

Ved at sammenholde resultaterne fra modelleringen af punktdata med middellårene for de tilsvarende lokaliteter baseret på billeddata findes i store træk de samme middellår.



Figur D.15 Middellår for position nord for Nuuk (tilsvarende position for punktdata) men baseret på billeddataene fra perioden 1983-1996. Grafen er hentet direkte fra Data-CD'en.

Snesmeltingens start og afslutning kan genfindes på billeddataene men i løbet af vækstsæsonen forekommer flere observationer af snedække som kun er baseret på information fra et år. Figur D.14 viser middellårene for punktdataene og hovedtrækkene af vækstsæsonen (start omkring 15. maj, optimum i slutningen af juli og afslutning på sæsonen i slutningen af september) kan genfindes på Figur D.15. Ved en bedre korrektion og indsamling af flere data vil det således være muligt at anvende dette værktøj til enkle hurtige analyser af snesmelting og vækstsæson for positioner på Vestkysten. På trods af de store huller i datasættet er det således muligt at få en nogenlunde beskrivelse af et middellår for snesmelting og vækstsæson.

D.6 Konklusion

Måden at præsentere billeddata var illustrativt god men for kvantitative analyser kræves der dels et bedre datagrundlag og dels modellering fremfor ren midling af resultater. Det kan dog konkluderes at metoden giver et udmærket overordnet billede af snesmeltning og vækstsæson på baggrund af data fra mange sæsoner. Ved kombination med et datasæt med tilsvarende temporal opløsning, som de anvendte punktdata og sammen med de anvendte modelleringer, vil metoden fra Data-CD'en være et stærkt værktøj til hurtigt at overskue forskelle imellem områder.

De præsenterede modelleringsmetoder er anvendt på punktdata og meget anvendelige for analyser af snesmeltning og vækstsæsoner i Vestgrønland. En fremtidig analyse bør derfor foretages over hele Vestgrønland med modellerne baseret på NOAA AVHRR HRPT data. En sådan analyse vil ikke kun give et overblik over de enkelte år, men kan også være en støtte for forvaltningen.

I forbindelse med forvaltning af rensdyr og moskusokser vil en sammenhængende serie af analyser af snesmeltning og vækstsæson kunne danne grundlag for en bedre forståelse af klimaets indflydelse på blandt andet fødegrundlaget. Middelår kan beregnes og forholdene for enkelte år, som anvendes til detaljeret kortlægning vil kunne analyseres.

I øjeblikket er data for NOAA AVHRR tilgængelige tilbage til 1982 og med udsigten til fortsat nedtagning af disse data vil analyser af klimaændringer også kunne udarbejdes i fremtiden

E Analyse af vegetation i satellitmærkede rensdyrs kerneområder

I den følgende sektion præsenteres et eksempel på anvendelse af vegetationskortene fra Sektion C i en analyse af satellitmærkede rensdyrs foretrukne områder. Analysen er baseret dels på vegetationskortene og dels på positioner fra satellitmærkede rensdyr. Mærkning og oparbejdning af rådata er foretaget af Cuyler og Linnell (in prep.).



Figur E.1 Rensdyr (*Rangifer tarandus groenlandicus*) ved Narsarsuaq nord for Godthåbsfjorden, Juli 1999. (Foto: M.P.Tamstorf).

E.1 Indledning

Rensdyrbestanden i Vest- og Sydgrønland består i dag af to underarter: Tamren (*Rangifer tarandus tarandus*) og vildren (*Rangifer tarandus groenlandicus*). Tamrendrift forekommer i dag i Sydgrønland, mens en tidligere tamrenbestand ved Itinnera i Godthåbsfjorden er blandet med vildrener (Jepsen, 1999). Bestanden i Vestgrønland har gennem de seneste 40 år haft store bestandssvingninger. Fra at bestå af cirka 100.000 dyr omkring 1970 til cirka 30.000 dyr i 1977 (Thing, 1984). I 1990'erne er bestanden vokset til en bestand på cirka 20.000 (Grønlands Naturinstitut, 1998). Estimeringerne er dog forbundet med stor usikkerhed. De antagede lave bestandsstørrelser på 10.000 dyr i 1993 førte til et totalt jagtforbud, som først blev ophævet i 1995 (Grønlands Naturinstitut, 1998), da strengere fangstkvoter blev indført. I indeværende år har nye undersøgelser vist at estimeringerne fra 1990'erne var for små og at bestanden i 1999 nærmere er på mellem 30.000 og 55.000 rensdyr alene i Region Nord (C.Cuyler, pers. komm.). Denne ændring har derfor ført til højere større fangstkvoter. Generelt er tallene for rensdyrbestandene under stor revurdering i det bestandsstørrelser og fangststal ikke har stemt overens tidligere.

Årsager til ændringerne i bestandsstørrelse er blandt andet klimaændringer, overgræsning af vinterføden eller jagttryk (Fleischer, 1993). Generelt er det dog normalt med storskala svingninger (65 – 115 års cykler) i bestandsstørrelsen om end det er ukendt hvad årsagen til dette er (Meldgaard, 1986).

Kendskabet til fødegrundlaget er en vigtig parameter for at øge forståelsen af rensdyrbestandens fluktuationer. Kortlægning af rensdyrenes fødevalg og fordeling og tilstand af vegetationen er væsentlige for analyser af rensdyrenes levestandard. En ny metode til kortlægning af rensdyrenes vandringmønstre og fødevalg blev introduceret i Grønland i 1997 og 1998, hvor 15 simler blev udstyret med halsbånd med satellitsendere (Cuyler og Linnell, in prep.). Senderne gav mulighed for at følge rensdyrenes vandringer i de efterfølgende to år og for at relatere deres positioner til vegetationskort. Resultaterne af sådanne undersøgelser er dog kun vejledende, idet en position i en vegetationstype ikke nødvendigvis betyder at rensdyret fouragerer på det pågældende tidspunkt.

E.1.1 Formål

Formålet med denne analyse er at identificere områder, hvor rensdyrene færdes og at analysere fordelingen af vegetationen i disse områder (*home range*). Til dette anvendes positionsdata fra satellitsenderne til estimering af rensdyrenes *home range's* samt vegetationskortene, som blev præsenteret i Sektion C.

Analysen vil endvidere vise mulighederne for anvendelse af vegetationskort i forvaltningen af Grønlands ressourcer.

E.2 Datagrundlag

Datagrundlaget for denne analyse består dels af positioner fra satellitmærkede rensdyr og dels af vegetationskortene, som blev præsenteret i Sektion C.

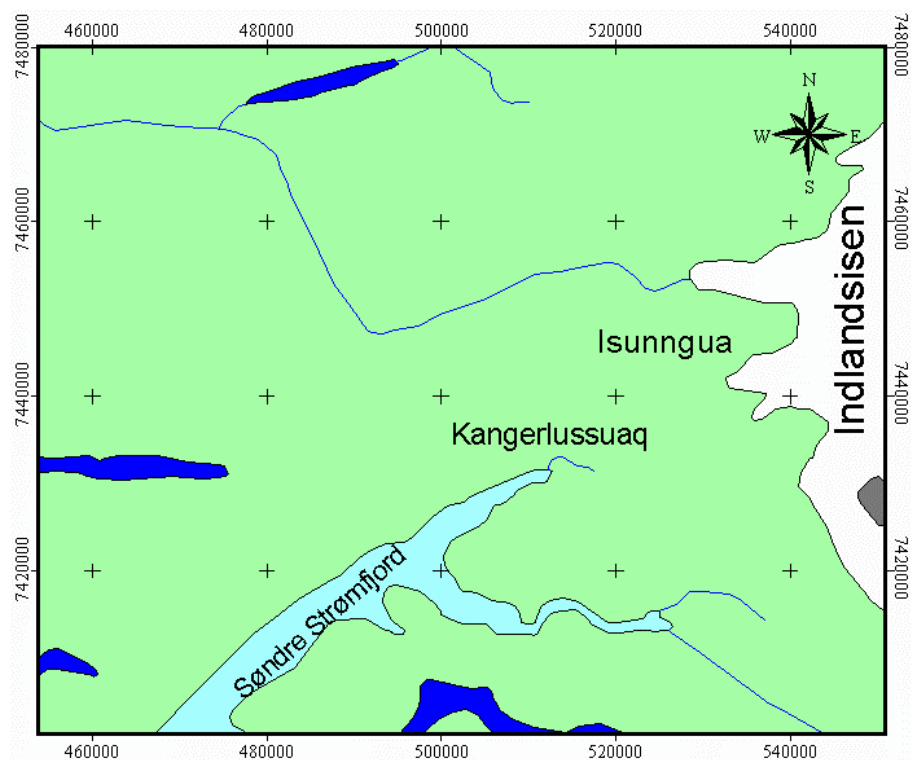
Satellitbånd er påsat og data modtaget og oparbejdet af Christine Cuyler ved Grønlands Naturinstitut (Cuyler og Linnel, in prep.).

E.2.1 Undersøgelsesområder

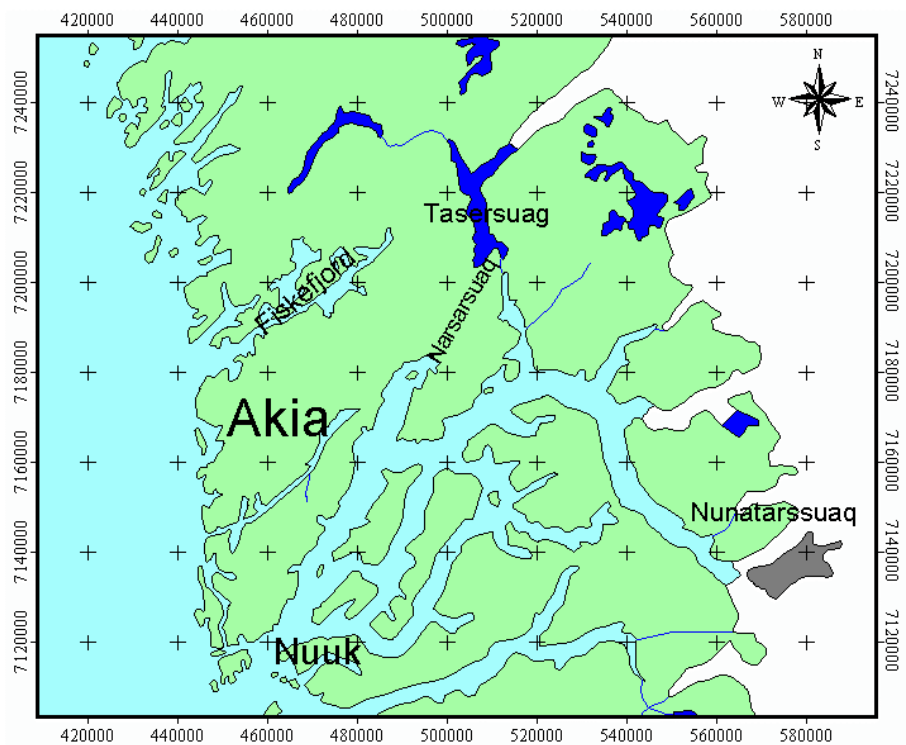
Rensdyrenes opholdsområder i Vestgrønland er opdelt i 5 hovedområder efter topografien (Cuyler og Linnel, in prep.). I dette studie er anvendt data fra områderne:

- *Region Nord* (afgrænset af Nordre Strømfjord i nord til Sukkertoppen Iskappe i syd og i østlig retning fra Sisimiut på kysten til indlandsisen i øst).
- *Region Central* (afgrænset fra kyst til indlandsis fra Sukkertoppen Iskappe i nord til Godthåbsfjorden i syd inklusiv Nunarssuaq i øst og Akia i vest).

I Figur E.2 og Figur E.3 er områderne, hvor de satellitmærkede dyr er observeret, vist med angivelse af vigtigste stednavne.



Figur E.2 Delområde af Region Nord indenfor hvilket de satellitmærkede rensdyr er observeret



Figur E.3 Delområde af Region Central indenfor hvilket de satellitmærkede rensdyr er observeret

Indenfor hvert område har rensdyrene fortrukne områder (*home ranges*), hvor migrationen foregår frit. Rensdyrene krydser kun sjældent imellem hovedområderne, selvom det fysisk er muligt.

E.2.2 Positionsdata

ARGOS er et satellitbaseret positioneringssystem, der fungerer som modtagestation for satellitsendere (*Platform Transmitter Terminal*) på jorden. ARGOS flyver på NOAA satellitterne og en nærmere beskrivelse af disse med overflyvningstid kan findes i afsnit D.2.1 på side 105. Satellitsenderen på jorden udsender et signal med kendt bølgelængde og når ARGOS satellitten passerer, anvendes dobler-effekten til at beregne senderens position. I dette studie er satellitsendere monteret på halsbånd på rensdyr i Vestgrønland, hvorved positionen af disse kan monitoreres og vandringsruter dermed fastlægges.

E.2.2.1 Montering af satellitsendere

Halsbånd med satellitsendere blev påsat rensdyr i løbet af vinteren 1997 og vinteren 1998. Rensdyrene blev indfanget fra snescooter uden bedøvelse og påsætningen af halsbånd tog 15-20 minutter, hvorefter rensdyret blev sluppet løs igen (Cuyler og Linnel, in prep.).

Sendere påsat i region Nord

Nord for Kangerlussuaq blev der i marts 1997 mærket en simle og i marts 1998 6 simler. 3 simler døde undervejs i perioden og antallet af sendere, som leverer observationer, varierer derfor.

Sendere påsat i region Central

På Akia nord for Nuuk blev 8 dyr (simler) mærket med satellitsendere i marts 1997. Alle sendere på nær én (simle med sender nr. 8145 døde i juni 1998) fungerede indtil vinteren 1999.

I Tabel E.1 er de enkelte senderes historie listet. Dyr med sensor nr. 7977 er ikke inkluderet i den efterfølgende analyse.

Tabel E.1 Data fra de enkelte satellitsendere angivet på månedsbasis. *x*: løbende data, *D*: død, *N*: naturlig død, *S*: sender problemer. (Mod. efter Cuyler og Linnel, in prep.).

	1997												1998					1999						
	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F
Region Nord																								
07979	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	N											
07978													x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	N
07977													x	D										
07980													x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
07981													x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
11082													x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
21344													x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Region Central																								
08144		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
08145		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	D									
08146		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
08147		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
08148		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
02701		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
11064		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	S			
21335		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

E.2.2.2 Data fra satellitsenderne

Satellitsenderne sendte positioner samt information om dyrets aktivitetsniveau. Aktivitetsdata vil dog ikke blive anvendt i denne analyse og kun oplysninger omkring positionsbestemmelse vil blive beskrevet.

Datahyppighed

Senderne blev programmeret til at sende i 7 timer hver 4. eller 6. dag. Derudover blev 4 af senderne programmeret til at sende dagligt i kælvningsperioden (1. maj – 30. juni) og 6 andre til at sende dagligt i jagtsæsonen (1. august – 30. september).

Usikkerhed

ARGOS behandler alle nedtagne positioner og rangerer dem efter usikkerhed i positionsbestemmelsen på en skala fra Z som den dårligste over B, A, 0, 1 og 2 til 3, som er den bedste kategori. Kun data med positioner i kategorien fra 1-3, som giver en statistisk usikkerhed på maks. 1000 m. er inkluderet i analysen.

I 1998 og 1999 blev der foretaget en test af usikkerheden på positionerne i kategori 1-3 ved at undersøge modtagne positionsbestemmelser fra kendte stationære placeringer. Disse inkluderede dels sendere på de døde rensdyr og dels placering af senderen på kendt position i Nuuk. Resultatet af denne test var at usikkerheden i gennemsnit var på 371 m med en standard afvigelse på 315 m. Største afvigelse var på 2.8 km (Cuyler og Linnel, in prep.).

Sortering

Da flere observationer for samme dag forekom er data blevet sorteret efter bedste usikkerhedskategori, og test foretaget om den valgte position var indenfor et sandsynligt område. Derefter var data klar til analysen.

E.2.3 Kortmateriale

E.2.3.1 Vegetationskort

Vegetationskortene blev præsenteret i Sektion C og deres anvendelse og nøjagtighed diskuteret. Her skal derfor bare opsummeres hvilke vegetationstyper, som er anvendt i analysen. Kun overfladetyper tolket som vegetation er inkluderet i analysen idet skygge, skyer osv. ikke antages at have stor indflydelse på rensdyrenes valg af fourageringsområde. De inkluderede vegetationstyper er således: *Dværgbuskhede*, *Lavholdig dværgbuskhede*, *Krat*, *Kær*, *Græsland*, *Steppe*, *Fjeldmark*, *Bar jord / Klippe*. *Bar jord / Klippe* er medtaget, idet overgangen mellem fjeldmark og denne kategori er flydende, og der kan forekomme små felter af lav indenfor denne klasse.

E.2.3.2 Topografiske kort

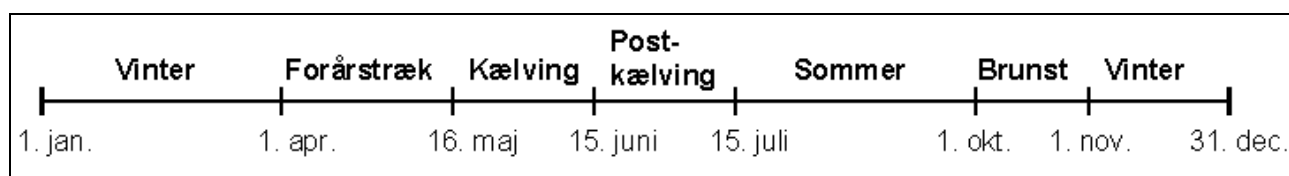
Til præsentation af *home ranges* og vandringsmønstre er der anvendt digitale topografiske kort fra Kort og Matrikelstyrelsen. Kortene er nærmere beskrevet i afsnit C.2.3 på side 36.

E.3 Teori og metode

I det følgende vil teori og metode bag analyserne af vegetationen i rensdyrenes fortrukne områder blive præsenteret. *Home ranges* vil blive defineret og teorien bag dem forklaret og metoder til analyse af forskelle i vegetationen indenfor *home range* præsenteret.

E.3.1 Rensdyrenes sæsoner

Året er opdelt i følgende årstider (Cuyler og Linnel, in prep.): Forårstræk, kælvning, post-kælvning, sommer, brunst, tidlig vinter, midt vinter og sen vinter. Data fra alle vintersæsoner er dog lagt sammen, da disse er meget ens. Desuden udelukkes forårstrækket, idet nogle dyr i denne periode vandrer så langt, at det ikke er relevant at tale om egentlig *home range* i relation til fødevalg. Det forudsættes at dyrene i denne periode vandrer for at komme til et andet område og ikke på grund af vegetationens sammensætning langs vandringsruten. Sæsonernes fordeling på året fremgår af Figur E.4:



Figur E.4 Rensdyrenes karakteristiske sæsoner

E.3.2 Estimering af *home range*

Home range kan defineres som: *Det område indenfor hvilket rensdyr bevæger sig igennem året under normale aktiviteter som fouragering, parring og kælvning* (Burt, 1943). Undersøgelse af *home ranges* og deres størrelse, udbredelse og udnyttelse er vigtig del af undersøgelser af rensdyrs økologi (Harris *et al.*, 1990). På grund af manglende betegnelse på dansk er *home range* i det følgende anvendt for det område, indenfor hvilket, at rensdyrene bevæger sig 95% af deres tid. Betegnelsen anvendes således også for de sæsonopdelte anvendelsesområder.

I Vestgrønland er rensdyrenes *home ranges* meget forskellige i karakter. Nogle rensdyr er stationære og udnytter samme lokalområde hele året, mens andre er migrerende og vandrer fortrinsvis mellem vinter og sommerområder (Cuyler og Linnel in prep., Thing 1984). Grundet rensdyrenes migration og forskelle heri giver en beregning af *home ranges* indenfor sæsonerne væsentligt mere information om habitat- og fødevalg end ved en beregning på årlig basis. Den primære faktor til valget af forskellige *home ranges* er mulighederne for fouragering (Thing, 1984), som ændres igennem året. Om vinteren er det således vigtigt for rensdyrene at finde områder med relativt tyndt snedække, så de kan komme igennem snelaget til vegetationen.

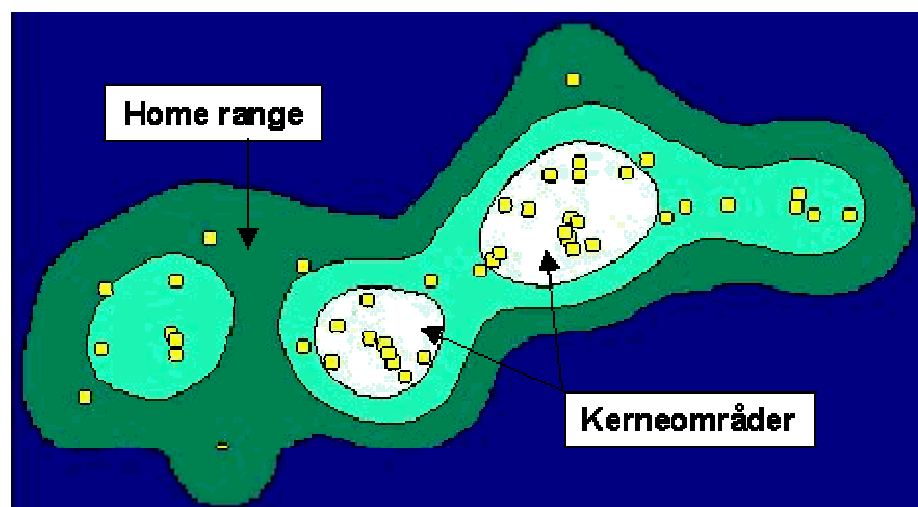
Beregning af *home ranges* på baggrund af radio- eller satellitmetri har været foretaget siden starten af 1960'erne og har resulteret i et intensivt arbejde indenfor *home range* estimering og statistisk analyse af disse (Harris *et al.*, 1990). En af de første og enkleste metoder til estimering af *home range* er *Minimum Convex Polygons*, som også er en af de mest anvendte metoder (Harris *et al.*, 1990). Metoden anvender alle yderpunkterne til at afgrænse

dyrets bevægelser, men bliver dermed også kraftigt påvirket af enkelte positioner uden for den egentlige *home range*.

For at modvirke fejl fra sjældent benyttede ekstreme yderpunkter er statistisk baserede *home range* estimeringer blevet udviklet. Disse metoder anvender en sandsynligheds fordeling af rensdyrenes positioner (*Utilization distribution*).

”*Utilization distribution*”

Utilization distribution (UD) angiver sandsynligheden for at de satellitmærkede rensdyr befinder sig inden for et givent område i det analyserede tidsrum (Van Winkle, 1975). UD har den fordel at de ikke vægter ekstreme enkeltobservationer særlig højt og at de kan anvendes til analyser indenfor *home range*. Analyser indenfor *home range* kan foretages på baggrund af de forskellige sandsynlighedsfordelinger. Sandsynligheden for at rensdyrene er indenfor et givent område med 50% chance betegnes i det følgende som kerneområder, hvorimod områder med sandsynlighed på 95% betegner *home range* (Figur E.5).



Figur E.5 *Utilization distribution* for en given punktmængde. Gule cirkler: observationer, Grøn: 95% UD, Lyseblå: 70% UD, Hvid: 50% UD (Hooge og Eichenlaub, 1997).

UD kan opdeles i to grupper; én som forudsætter en given fordeling af *home range* og én som ikke har forudsætninger om fordelingen. Til den sidste hører blandt andet *Fixed kernel home range utilization distribution (Kernel-UD)*, som er anvendt i dette studie (Worton, 1989).

Least squares cross validation (LSCV)

Kernel-UD i denne analyse anvender *least squares cross validation (LSCV)* til bestemmelse af kernelbredden, som betinger, hvor stor en vægt tætliggende punkter har på analysen. Ved en bred kernel får fjerntliggende observationer større vægt, hvorved den overordnede form af *home range* træder frem, hvorimod smalle kernels favoriserer tætliggende observationer og giver dermed et billede af lokale variationer. *LSCV* anvender forskellige estimater på kernelbredden, og anvender den, som giver den mindste fejl på sandsynlighedsestimeringen (Silverman, 1986).

Kernel-UD metoden, som er anvendt til estimering af *home ranges*, er implementeret i *Animal Movement Analysis* pakken til ArcView (Hooge og Eichenlaub, 1997).

E.3.3 Databehandling

Arbejdsgangen ved estimering af *home ranges* og analyse af vegetationstyperne fordeling er beskrevet i det følgende.

Home range beregning og film

Positionsdata inddeles, som angivet i Tabel E.1, med 7 dyr i Region Nord og 8 dyr i Region Central. Data inddeles derefter i sæsoner (som i afsnit E.3.1 inkl. vinteropdeling) og *home ranges* beregnes (afsnit E.3.2) på hver sæson i de to regioner. Alle *home ranges* vises grafisk og kombineres i en film (jvf. Data-CD'en). De enkelte *home ranges* er endvidere vist i appendiks H.10.

Opdeling af underområder indenfor samme sæson

Data fra forskellige år slås sammen, så de repræsenterer samme sæson hvor efter *home ranges* beregnes for disse. De nye *home ranges* undersøges for opdeling. I Region Central holder 3 dyr til i det sydlige område, mens de andre migrerer til et nordligt kælvningsområde nordøst for Tasersuaq. Samme fordeling gør sig gældende i post-kælvningsperioden. I vinterperioden opholder ét dyr sig nord for Fiskefjord, mens de resterende tilbringer vinteren 30 km sydligere på den anden side af Fiskefjord. *Home range* estimeringen af kælvnning, postkælvnning og vintersæsonen i Region Central er derfor opdelt i nordlige og sydlige *home ranges* indenfor samme sæson.

Vegetationstypernes fordeling i home ranges

100 meter bufferzoner omkring data for 2 sæsoner i hver region beregnes. Alle *home ranges* og bufferzoner "lægges ind over" vegetationskortene og fordelingen af vegetationstyperne indenfor hvert område beregnes for henholdsvis *home range*, kerneområder og bufferzoner.

Resultaterne fra 100 m bufferzonerne omkring hver positionsbestemmelse, anvendes til at undersøge om fordelingen af vegetationstyperne indenfor kerneområdet, kan anvendes som udtryk for fordelingen af vegetationstyper tæt ved de positioner, hvor dyrene er observeret.

Foretrukne typer

For hver sæson er der foretaget en analyse af hvilke vegetationstyper dyrene foretrækker ved at beregne det arealmæssige forhold mellem de vegetationstyper som er tilgængelige i dyrenes kerneområder og i *home range* indenfor hver sæson:

$$\frac{Rel. \text{areal}_{\text{kerneomr.}}}{Rel. \text{areal}_{\text{"home range"}}$$

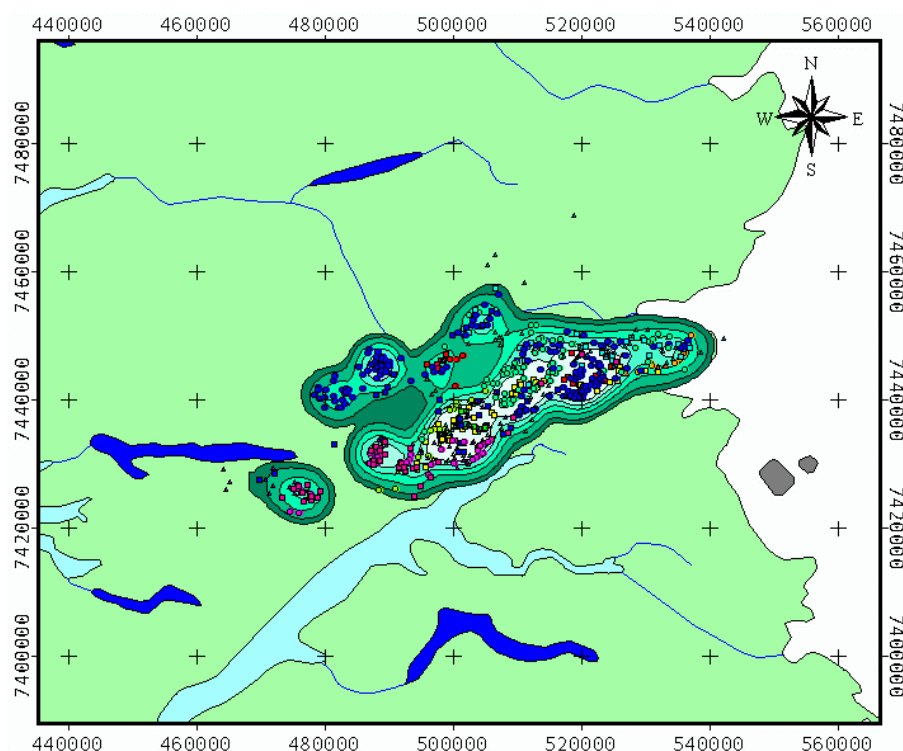
Indekset giver værdier fra 0 til uendelig med værdier over 1 for de vegetationstyper, som er hyppigere indenfor kerneområdet end i hele *home range* området.

E.4 Resultater

De satellitmærkede rensdyrs foretrukne vegetationstyper er præsenteret i det følgende for Region Central og Region Nord. Analyserne præsenteres med resultater fra begge regioner.

E.4.1 Samlede *home ranges*

For begge regioner er der på baggrund af alle observationer i perioden 1997-1998 estimeret *home range* for rensdyrene. Der er ikke taget hensyn til opdeling i sæsoner eller forskellige kælvningsområder, idet estimeringen er ment som et bud på det areal, hvori de satellitmærkede rensdyr primært har bevæget sig i perioden.

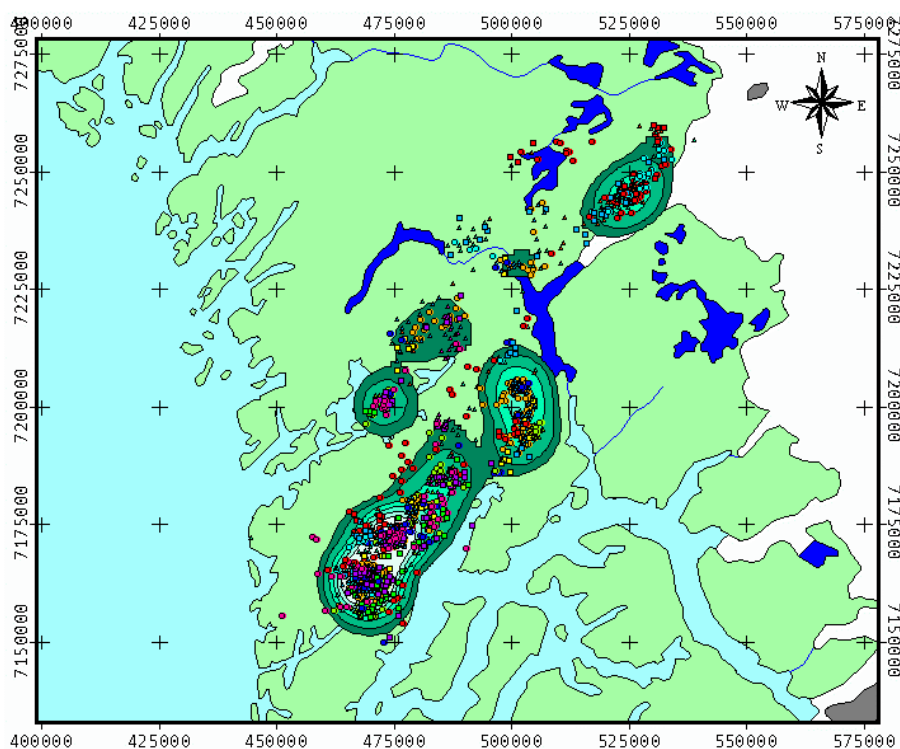


Figur E.6 Estimeret *home range* for alle observationer i Region Nord (1997-1999). Observationerne er opdelt i sæsoner med lilla som de tidligste i perioden over rød, gul, grøn til blå for de sidste sæsoner.

Figur E.6 viser dels en oversigt over placeringen af alle observationerne nord for Kangerlussuaq i Region Nord og dels *home range* baseret på alle data. Der ses en tydelig koncentration af rensdyrenes positioner lige nordvest for Kangerlussuaq. Andre små delområder kan erkendes og disse kommer da også ud som separate *home ranges* i den følgende estimering af sæsonopdelte *home ranges*.

Estimeringen af *home range* baseret på alle observationerne fra Region Central (1997-1999) er vist i Figur E.7. 50% UD er udelukkende placeret i den sydlige del af *home range* på Akia. Andre områder bliver også benyttet kraftigt, om end i mindre grad, og inkluderer blandt andet et kælvningsområde nordøst for Tasersuaq tæt ved indlandsisen. Området nord for Fiskefjorden, står frem som et benyttet område, men kun defineret indenfor 90%

UD. Selvom området bliver benyttet hele året er det kun et dyr og samlet set får det derfor ikke så stor vægt.

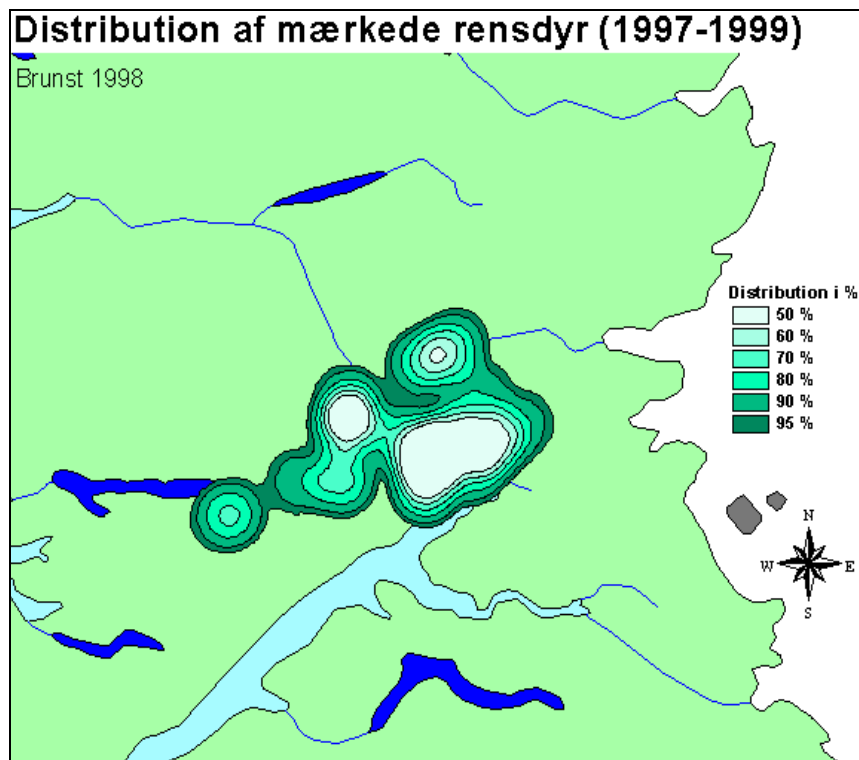


Figur E.7 Estimeret home range for alle observationer i Region Central (1997-1999). Observationerne er opdelt i sæsoner med lilla som de tidligste i perioden over rød, gul, grøn til blå for de sidste sæsoner.

E.4.2 Sæsondelte home ranges

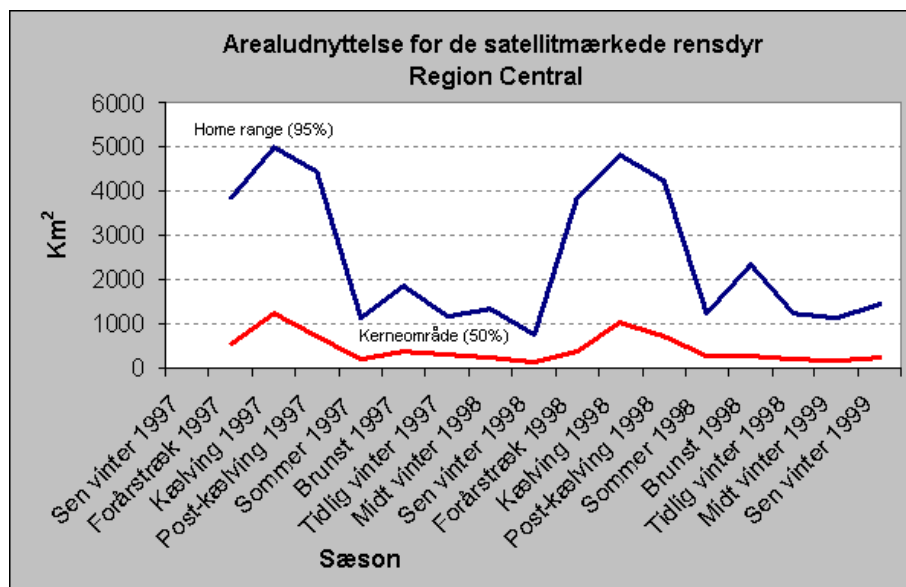
Sæsonopdeling af observationerne er foretaget som angivet i afsnit E.3.1 og *home ranges* er estimeret for hver af disse. Eksempel fra brunstperiode i 1998 er vist i Figur E.8.

Home ranges for de to regioner er samlet i to film på vedlagte Data-CD, som viser den tidsmæssige variation af *home ranges* fra 1997 til 1999. Hvert billede er endvidere inkluderet i appendiks H.10.



Figur E.8 Home range for brunstperioden i 1998 i Region Nord. Analysen inkluderer observationer fra 5 simler.

Ved at beregne arealet af de enkelte *home ranges* kan arealudnyttelse for de satellitmærkede rensdyr anskueliggøres og eventuelle store forskelle imellem sæsonerne undersøges.



Figur E.9 Arealudnyttelse for *home ranges* i Region Central.

I Figur E.9 er arealudnyttelsen for alle *home ranges* i Region Central vist. Ud fra figuren ses at *home ranges* for forårstræk, postkælving og kælving har en væsentlig større udstrækning end de resterende *home ranges*. Ved visuel analyse af den grafiske repræsentation af *home ranges* fra de pågældende perioder (appendiks H.10.1) er det tydeligt, at hver af disse *home ranges* reelt består af to *home ranges*. For yderligere analyse splittes disse op i nordlige og sydlige *home ranges* indenfor sæsonen.

E.4.3 *Home range* baseret på alle år

For at analysere generelle forskelle imellem områder er samme sæsoner fra forskellige år slået sammen for at danne *home ranges* baseret på alle de tilgængelige års data. Dette er blevet gjort og *home ranges* for de nye datasæt estimeret.

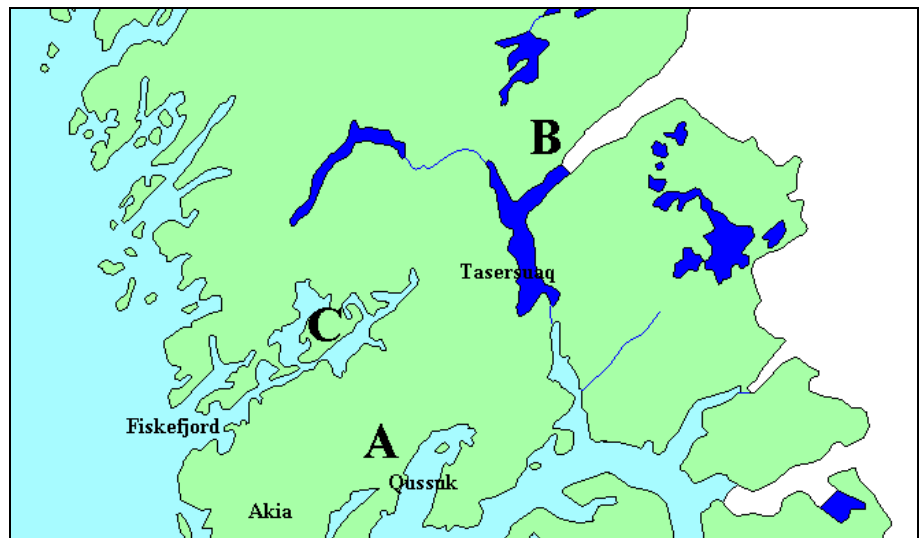
Med de nye *home ranges* er der estimeret i alt 5 fra Region Nord og 8 fra Region Central. Vintersæsonerne er slået sammen, da disse var meget ens ved visuel analyse af de individuelle *home range* kort. Endvidere er Forårstræk udeladt fra den følgende analyse, idet arealudnyttelsen er høj i forhold til de andre områder og dette skyldes, at rensdyrene i denne periode migrerer fra vinterområderne til kælvningsområderne. Det kan således ikke tolkes som et egentligt *home range*, men mere som en transportkorridor. Vegetationstypernes fordeling indenfor denne transportkorridor kan derfor ikke anvendes til at analysere rensdyrenes fødevalg i denne periode. Det må istedet forventes at dyrene migrerer for at komme til kælvningsområdet og ikke primært for at spise den vegetation, som er langs ruten. Ved returnering fra kælvningsområdet er migrationen spredt over længere tid og observationerne fra migrationen kan derfor ikke sorteres fra.

I Tabel E.2 er karakteristika for de 13 *home ranges* summeret op. Antal observationer som *home ranges* er estimeret på basis af, er listet sammen med arealet af henholdsvis *home range* og kerneområder. Forholdet imellem kerneområdet og *home range* arealer er endvidere beregnet. Som det kan ses udgør kerneområderne mellem cirka 8% og 25% af *home ranges*.

Tabel E.2 Karakteristika for *home ranges* baseret på observationer fra flere år. *n* angiver antal observationer som *home range* er baseret på og forhold angiver forholdet mellem arealet af kerneområder (50% UD) og *home ranges* (95% UD).

Region	Home ranges	n Home range		Kerneområde	Forhold
		antal	km ²		
Central	Kælving_Nord	52	693	105	15.2
	Kælving_Syd	45	176	16	9.1
	Postkælving_Nord	86	1464	133	9.1
	Postkælving_Syd	57	136	22	16.2
	Sommer	508	1030	222	21.6
	Brunst	96	1930	339	17.6
	Vinter_Nord	72	216	23	10.6
	Vinter_Syd	324	854	139	16.3
Nord	Kælving	33	513	129	25.1
	Postkælving	53	469	86	18.3
	Sommer	238	913	75	8.2
	Brunst	40	829	65	7.8
	Vinter	203	662	114	17.2

Ud fra fordelingen af de nye *home ranges* og specielt kælvningsområderne kan placeringen af kælvningsområderne for rensdyrene erkendes. I Figur E.10 er den omtrentlige placering af kælvningsområderne i Region Central vist.

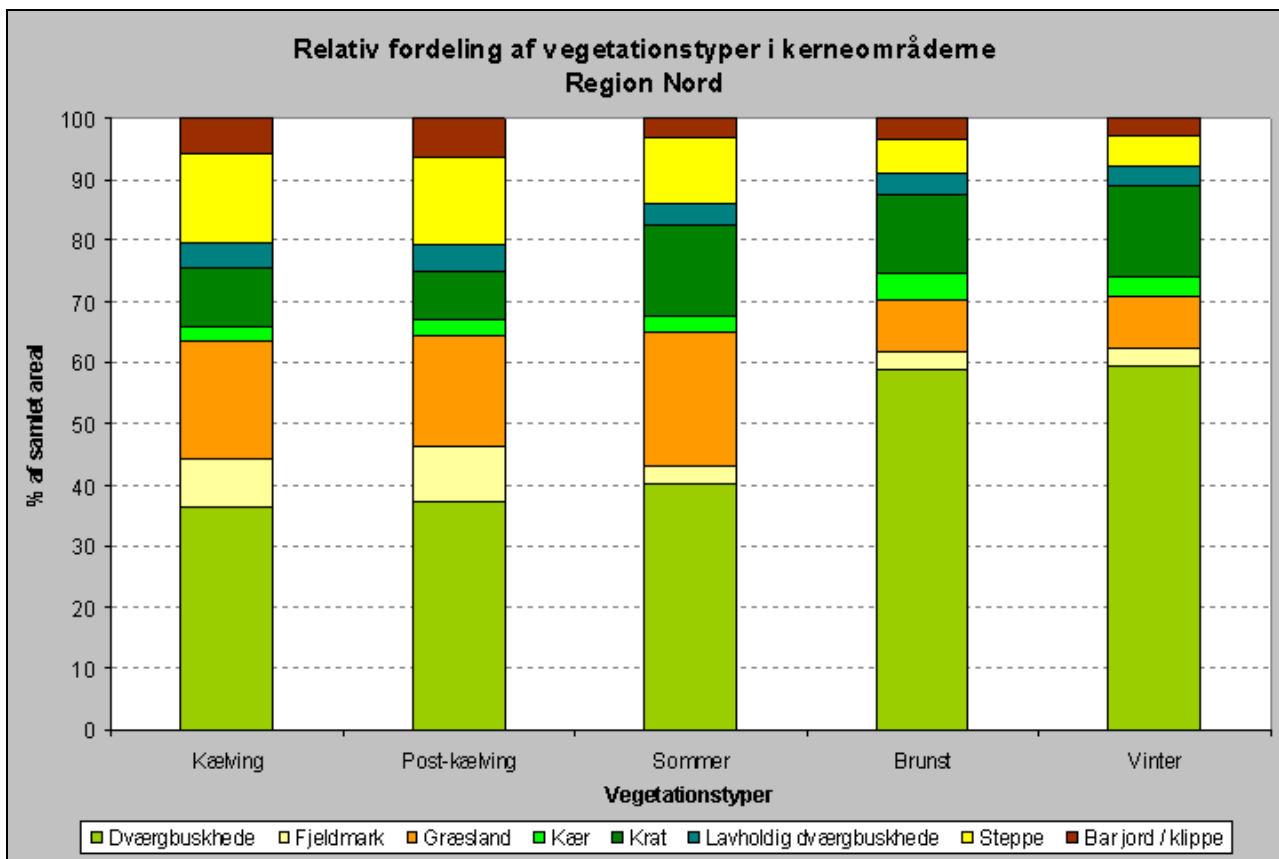


Figur E.10 Omtrentlig placering af home ranges for de mærkede rensdyr. A: Hele året for nogle dyr, vinter for andre. B: Kælving og sommer for nogle dyr. C: Vinter for et dyr.

For Region Nord er der primært ét kælvningsområde, der ligger lige nord og nordøst (indenfor 20kms afstand) for Kangerlussuaq. Positionen af disse kan ses på figurene i appendiks H.10 på side H-48.

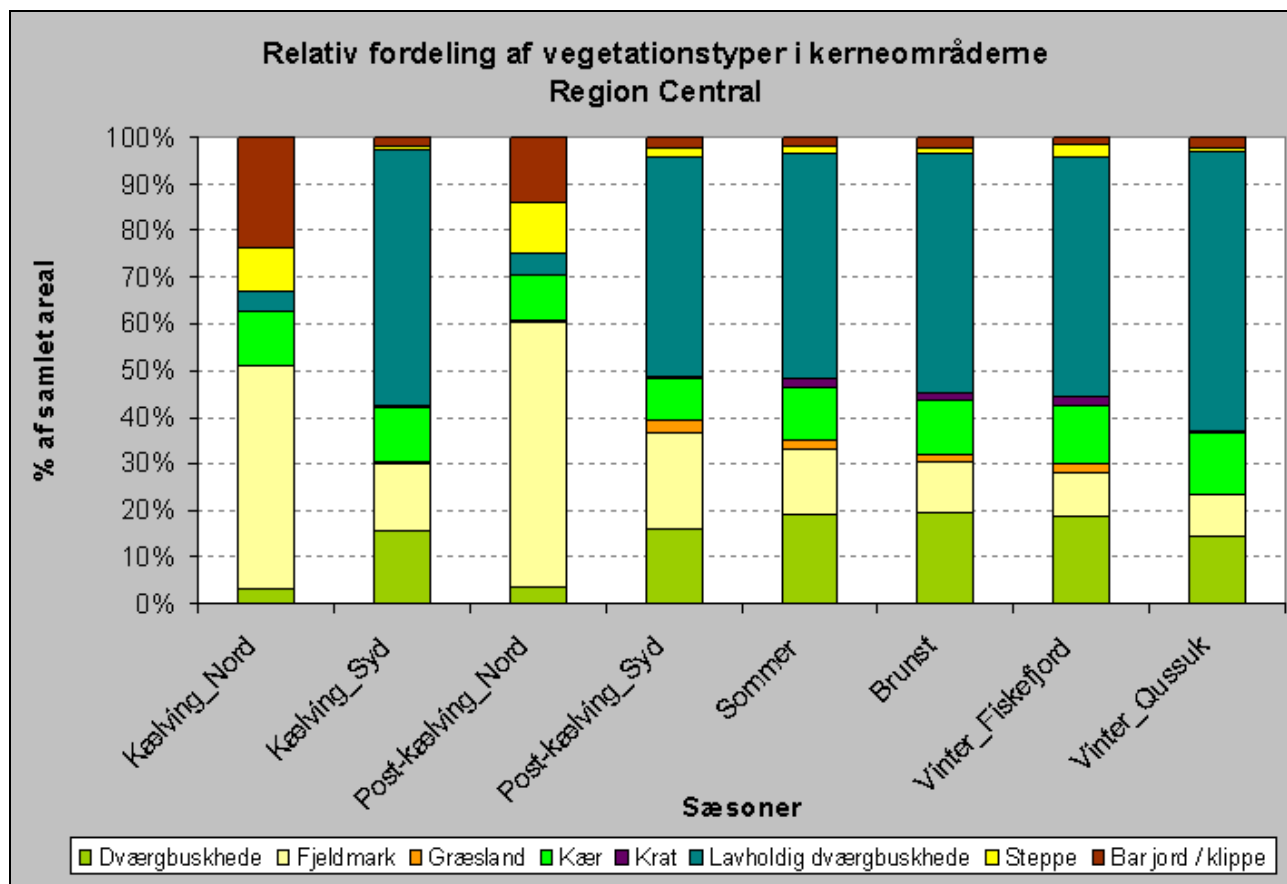
E.4.3.1 Relativ fordeling af vegetationstyper

Home ranges, som listet i Tabel E.2, er anvendt til at analysere fordelingen af vegetationstyperne indenfor rensdyrenes fourageringsområder med.



Figur E.11 Fordeling af vegetationstyper indenfor home ranges i Region Nord.

I Figur E.11 er fordelingen af vegetationstyper indenfor home ranges i Region Nord vist. Alle områder ligner i store træk hinanden, hvad angår fordelingen af de vegetationsdækkede overfladetyper. Dog er der indenfor kerneområdet i brunst- og vinterperioden mindre græsland end i de andre sæsoner. Andelen af dværgbuskhede er tilgængelig større i brunst- og vinterperioden.

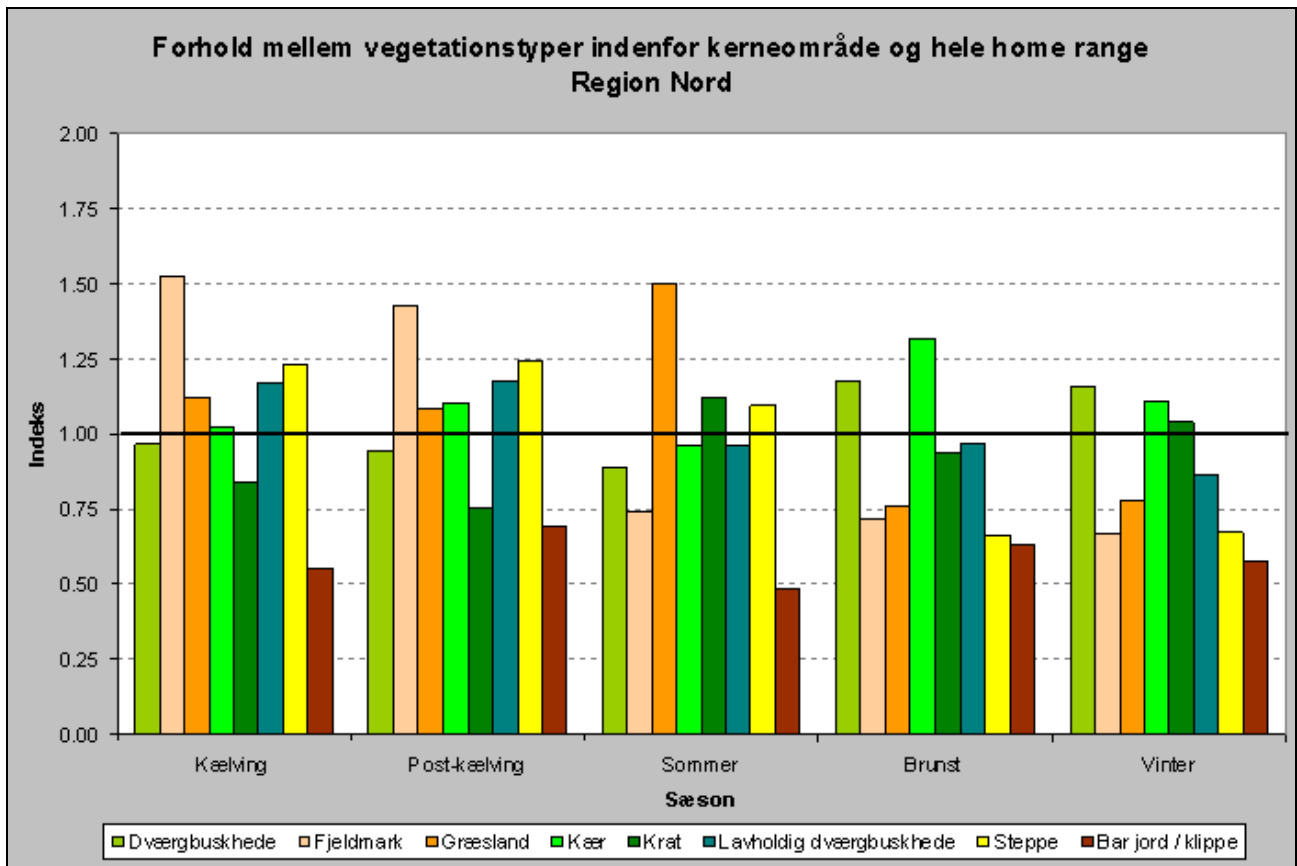


Figur E.12 Fordeling af vegetationstyper indefor home ranges i Region Central.

I Figur E.12 er fordelingen af vegetationstyper indenfor home ranges i Region Central vist. Områdernes dækning er vist som procent af det totale vegetationsdækkede areal. Som det fremgår af figuren er vegetationen i de nordlige områder (kælving_Nord og post-kælving_Nord) noget forskellig fra vegetationen i de øvrige områder. Vegetationen i de øvrige områder er præget af især lavholdig dværgbuskhede (45%-60%), dværgbuskhede (15%-20%) og kær (8%-15%), hvorimod de nordlige og højereliggende områder har større andele af fjeldmark (45%-55%) og bar jord (15%-25%). Krat har i alle områder lille udbredelse (max. 3%).

E.4.3.2 Fordeling af vegetationstyper indenfor home range

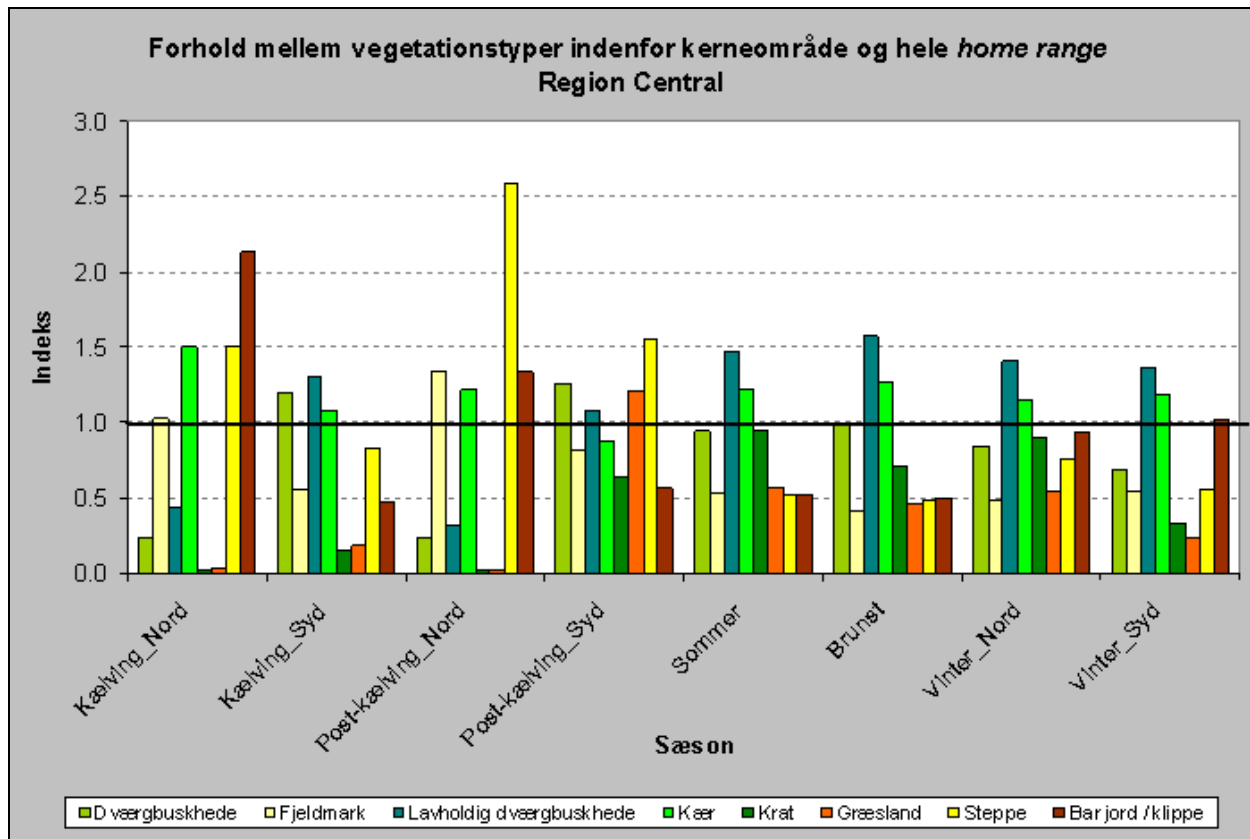
Fordeling af vegetationstyperne indenfor *home range* kan anvendes som udtryk for rensdyrenes foretrukne vegetationstyper. Ved at beregne forholdet mellem kerneområderne og *home range* fås værdier over én for typer som er hyppigere repræsenteret i kerneområderne (50% UD) end i *home range* områderne (95% UD). I Figur E.13 og Figur E.14 er de foretrukne vegetationstyper indenfor hvert område vist.



Figur E.13 Rensdyrenes foretrukne vegetationstyper indenfor hver home range i Region Nord vist ved forholdet mellem 50% UD og 95% UD.

Figur E.13 viser fordelingen af rensdyrenes foretrukne vegetationstyper i Region Nord. I kælvnings- og post-kælvningsperioden er hovedparten af positionerne lokaliseret i et område med overvægt af fjeldmark i forhold til hele *home range*. Også steppe, lavholdig dværgbuskhede, græsland og kær er hyppigere i kerneområdet i denne periode, men i mindre grad end fjeldmarkstypen. I sommerperioden er det græsland, som er repræsenteret hyppigere end i hele *home range*. Også krat og steppe er hyppigere her, men i mindre grad end græsland. Bar jord / klippe og fjeldmark er tilgængelig underrepræsenteret i kerneområderne i sommer perioden. I brunst- og vinterperioderne er dværgbuskhede og kær områder hyppigere i kerneområderne end i de omkringliggende områder. Krat og lavholdig hede er stort set lige meget repræsenteret. I vinterperioden er der ikke så stor forskel på kerneområder og hele *home range*, som i de andre sæsoner.

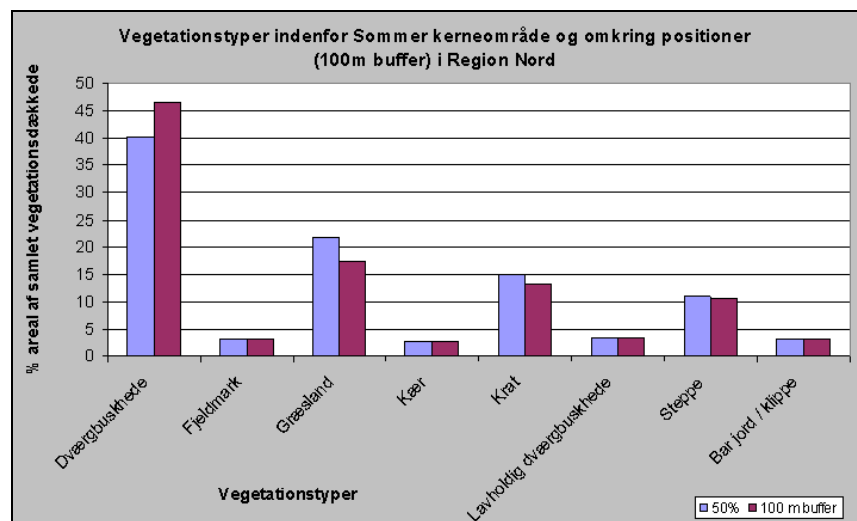
I Figur E.14 er indekset for den relative fordeling af vegetationsdækkede arealer indenfor kerneområdet (50%) samt indenfor hele *home range* området (95%) vist for Region Central. For alle de estimerede kerneområder er det kun de nordlige områder i kælvning- og post-kælvningsperioderne at lavholdig dværgbuskhede ikke er repræsenteret hyppigere i kerneområderne. I disse områder er det tilgængelig de mere sparsomt bevoksede overfladetyper (bar jord / klippe, steppe og fjeldmark), som er repræsenteret hyppigere, mens krat og græsland stort set ikke er tilstede i forhold til hele *home range*. Også kær området er repræsenteret hyppigere i de nordlige områder, når det gælder den interne fordeling af vegetationstyperne. I sommer, brunst og vinterperioderne er det kun den lavholdige dværgbuskhede og kær områderne, som er hyppigere præsenteret i kerneområderne, hvorimod græsland og steppe er underrepræsenteret.



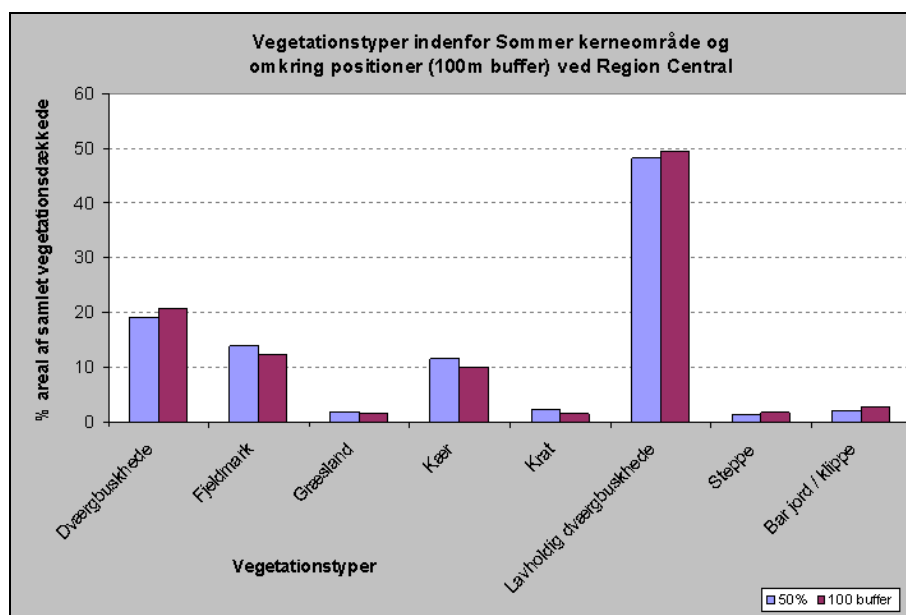
Figur E.14 Rensdyrenes foretrukne vegetationstyper indenfor hver home range i Region Central vist ved forholdet mellem 50% UD og 95% UD.

E.4.3.3 Vegetationen i kerneområder og tæt ved observationerne

Idet kerneområderne er baseret på observationer af rensdyrenes position for hver 4. til 6. dag, er der inkluderet en hvis usikkerhed i estimeringen af vegetationstypernes fordeling i kerneområderne. Der er derfor foretaget en analyse af vegetationstypernes fordeling indenfor en 100 m bufferzone omkring alle de observerede positioner. En sammenligning af vegetationsfordelingen indenfor bufferzonerne og indenfor kerneområder skulle derfor være relativt ensartet, hvis kerneområderne skal kunne anvendes, som et udtryk for den generelle fordeling af vegetationstyperne i rensdyrenes fourageringsområder.



Figur E.15 Vegetationstypernes fordeling i Region Nord indenfor henholdsvis kerneområder og i en 100 m buffer omkring alle observationspunkter.

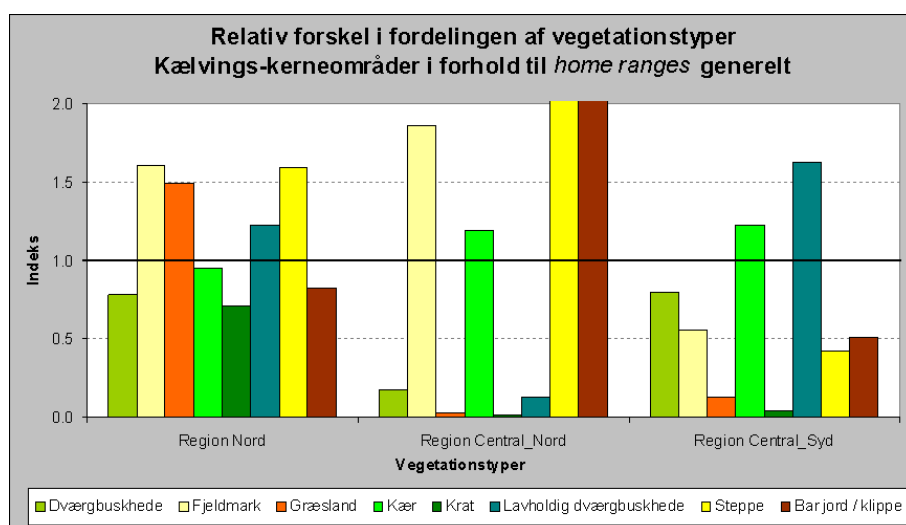


Figur E.16 *Vegetationstypernes fordeling i Region Central indenfor henholdsvis kerneområder og i en 100 m buffer omkring alle observationspunkter.*

I såvel Region Nord (Figur E.15) som Central (Figur E.16) er fordelingen af vegetationstyper indenfor kerneområderne og i bufferzonerne meget ens. Forskellene er for det meste kun få procent og derfor antages vegetationstypernes fordeling i kerneområderne at være udtryk for den reelle udnyttelse af vegetationstyper for rensdyrene i størstedelen af den periode de fouragerer i. Dværgbuskhederne i Region Nord er de eneste, hvor forskellen overstiger 5 procentpoint. En yderligere diskussion af usikkerheder i disse analyser følger nedenfor.

E.4.3.4 Sammenligning af kælvningsområderne

Da kælvningsområderne er vigtige for rensdyrene (Klein, 1991), foretages der en analyse af vegetationstypernes fordeling indenfor disse set i forhold til hinanden og i forhold til de generelle områder som rensdyrene færdes i.



Figur E.17 *Fordelingen af vegetationstyper i kælvningsområder i forhold til fordelingen generelt i pågældende region (Værdier over 1.0 er således hyppigere repræsenteret i kælvningsområdet end generelt i hele home range)*

I Figur E.17 er resultatet af denne analyse vist. Vegetationstypernes fordeling i 50% UD's for kælvningsområderne er set i forhold til fordelingen i 95% UD's for de generelle *home ranges*.

I Region Nord er forskellen fra fordelingen i den generelle *home range* til fordelingen i kælvningsområdet ikke særlig stor. Størst forskel er der på fjeldmark og steppe, som er hyppigere repræsenteret i kælvningsområdet (ca. 20%) end i det generelle *home range*. Dværgbuskhede, kær, krat og bar jord / klippe er tilgængelig underrepræsenteret i kælvningsområdet i forhold til den generelle fordeling.

Væsentlig større forskel mellem fordelingen i kælvningsområderne og de generelle områder, finder man i det nordlige kælvningsområde i Region Central. Her er dværgbuskhede, græsland, krat og lavholdig dværgbuskhede stort set ikke repræsenteret, hvorimod de mere vegetationsfattige typer, fjeldmark, steppe og bar jord / klippe er væsentligt hyppigere end generelt. Specielt steppe (indeks 3.4) og bar jord / klippe (indeks 7.0) er meget hyppigere i dette kælvningsområde. Kærområderne er svagt hyppigere i kerneområderne.

I det sydlige kælvningsområde i Region Central er det kær og lavholdig dværgbuskhede, som er hyppigere til stede end generelt i *home range*. Græsland og krat er stort set ikke til stede, mens de resterende typer (dværgbuskhede, fjeldmark, steppe og bar jord / klippe) kun er repræsenteret omkring halvt så meget som i *home ranges* generelt.

E.5 Diskussion

Beregningen af *home ranges*, dels for det samlede datasæt i hver region og dels for de sæsonopdelte data har vist, hvor de satellitmærkede rensdyr bevæger sig og sandsynligvis fouragerer på forskellige tidspunkter af året. Idet det forudsættes at rensdyrene fouragerer de steder hvor de opholder sig, og ikke hviler et sted og fouragerer et andet, er observationerne udtryk for deres fødevalgshabitater. Ved en analyse af vegetationens fordeling indenfor dette område vil det således være muligt at give en karakteristik af hvilke vegetationstyper rensdyrene foretrækker.

E.5.1 Home ranges og migration

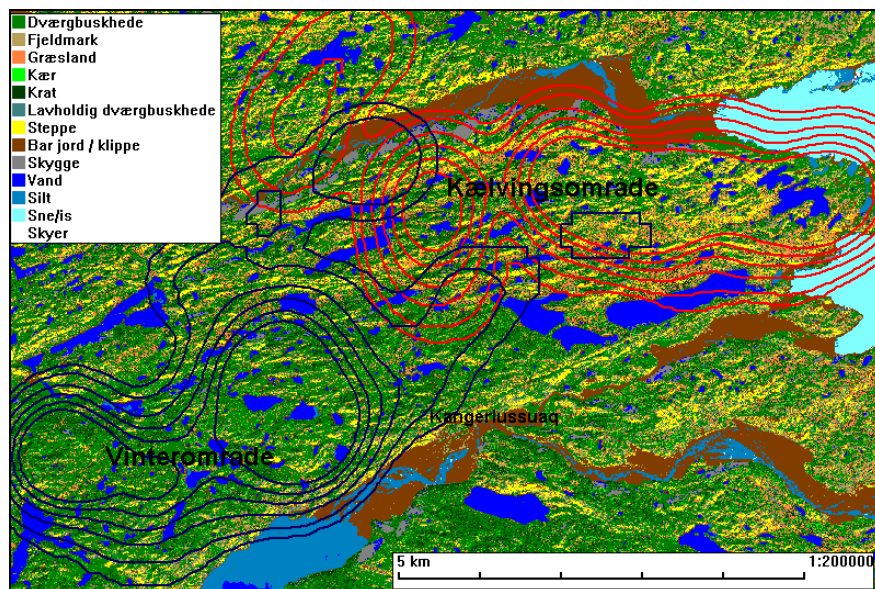
Rensdyrene i de to regioner udviser en forskel i størrelsen af deres arealudnyttelse. Hvor rensdyrene i Region Nord bevæger sig over et 1267 km² område bevæger dyrene i Region Central sig rundt på 1736 km². Grunden til dette kan være flere årsager, men både Thing (1984) og Meldgaard (1986) nævner bestandsstørrelsen som værende korreleret med antallet af rensdyr, som migrerer langt mod vest om vinteren. Eftersom bestanden i øjeblikket er langt mindre end tidligere (Grønlands Naturinstitut, 1998) har bestanden mulighed for at finde deres føde uden at migrerer langt mod vest. *Home range* arealerne er baseret på 95% UD og er således kun udtryk for det område, hvor dyrene bevæger størstedelen af tiden og inkluderer ikke yderpositionerne af rensdyrenes bevægelser samt eventuelle transportområder fra en *home range* til en anden. Disse bevægelser er kun sporadiske og er forårsaget af migration mellem områder eller flugt ved forstyrrelser af forskellige arter (mennesker, insekter etc.). I denne undersøgelse er observationer fra flere dyr slået sammen selvom dyrenes vandringsmønstre i princippet er uafhængige. Ved en detaljeret gennemgang af dyrenes vandringsmønstre er det dog besluttet at de sammenholdte observationer kan anvendes, som udtryk for en fælles *home range*.

E.5.1.1 Region Nord

I Region Nord begrænser bevægelserne af de satellitmærkede rensdyr sig til et cirka 1250 km² stort område umiddelbart nord for Kangerlussuaq. Området strækker sig fra indlandsisen ved Isunngua over cirka 70 km til vest for Kangerlussuaq. Rensdyrene har et migrationsmønster, hvor de i kælvnings- og post-kælvningsperioden opholder sig tæt ved indlandsisen, mens de i resten af året tilbringer størstedelen af tiden lidt længere fra indlandsisen.

I Figur E.18 er den omtrentlige placering af vinter- og kælvningsområder vist på vegetationskortet. Placeringen af specielt kælvningsområderne er dog varierende, som det kan ses af figurene for placering af *home ranges*. I perioden fra marts 1997 til januar 1998 er der kun observationer fra et dyr. Disse positioner følger sammen mønster som positionerne fra de 6 mærkede dyr fra 1998-1999, om end placeringen af kælvningsområdet ligger en smule tættere ved isen.

Thing (1984) beskriver mulige placeringer af *home ranges* i Region Nord, hvor det primære sommerområde er placeret tilsvarende Figur E.18. Det primære vinterområde er dog beskrevet væsentligt mere mod vest end tilfældet er for de 7 mærkede rensdyr i dette studie. Heller ikke et sekundært vinterområde syd for Isunngua bliver anvendt af de mærkede rensdyr.



Figur E.18 Placering af henholdsvis vinter (blå) og kælvningsområder (røde) for de satellitmærkede rensdyr vist på vegetationskortet. Home range er beregnet på baggrund data fra perioden 1997-1999.

Det ses af Figur E.18 at rensdyrene ikke benytter de af Thing (1984) nævnte vinterområder men er lokaliseret længere mod øst. Mærkningen af rensdyrene er foretaget om vinteren og det må derfor antages at de mærkede dyr var i deres primære vinterområde i denne vinter og ikke bevæger sig længere mod vest. Da mærkning af rensdyr i andre vinterområder ikke har været foretaget er det derfor ikke muligt at udelukke at en del rensdyr foretager denne migration fra kystnære til indlandsområderne ved Isungua. En anden årsag kan være størrelsen af bestanden, som har indflydelse på arealudnyttelsen (Meldgaard, 1986). Thing (1984) begrundes således en nedgang i antallet af migrerende dyr med en tilbagegang af bestanden i slutningen af 1970'erne. Studier af Meldgaard (1986), viser hvordan rensdyrene ved små bestandsstørrelser kun anvender indlandsområder, mens de ved store bestandsstørrelser anvender områder helt ud til kysten.

E.5.1.2 Region Central

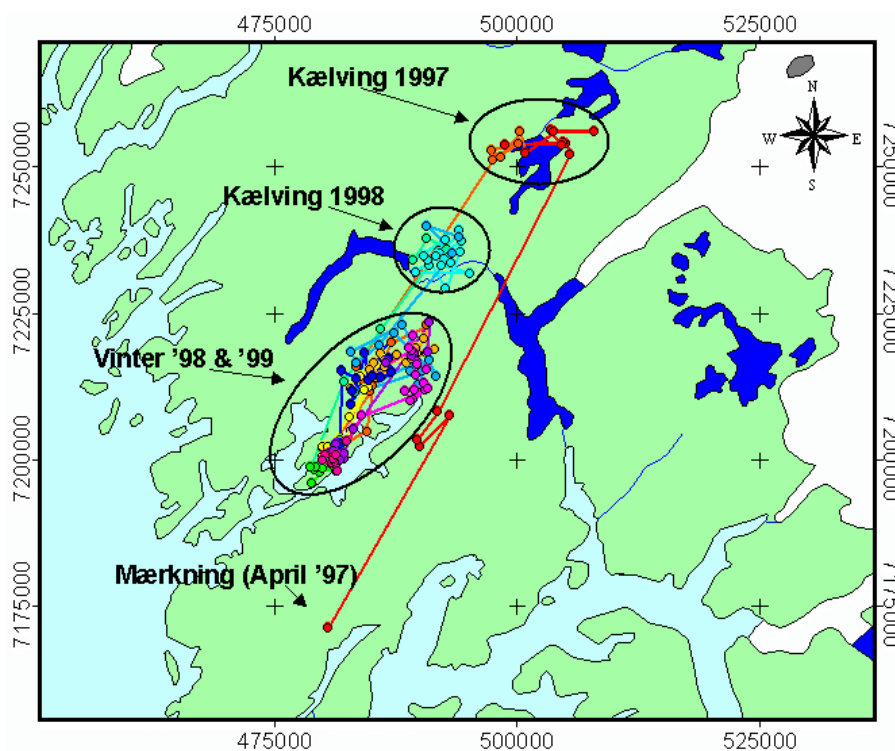
Region Central er kendetegnet ved at have nogle stationære og nogle migrerende dyr. De stationære dyr anvender samme område til vinter- og sommerfouragering, hvorimod de migrerende dyr, som i foråret migrerer til et kælvningsområde 100 km nordøst for vinterområdet for i løbet af sommeren at returnere til de sydlige områder.

For de stationære dyr udnyttes kun små arealer i sammenligning med de migrerende dyr. For eksempel er 95% UD for ét af de stationære rensdyr (nr. 8147) kun 83 km², hvorimod 95% UD for ét af de migrerende dyr (nr. 8148) er på 1401 km². Årsagen til at nogle rensdyr vælger at migrere langt og derved forbruge væsentligt mere energi end andre dyr er ikke kendt, men kan relatere sig til blandt andet fødegrundlaget i de to områder. Forskellene mellem fordelingen af vegetationstyperne i de to områder vil blive diskuteret nedenfor i afsnit E.5.2.1.

Nord for Fiskefjord

Ét rensdyr adskiller sig fra de andre ved at opholde sig i et vinterområde på den nordlige side af Fiskefjord (Figur E.19). Rensdyret er mærket i det sydlige område d. 4. april 1997 og migrerede derefter mod nord i retning af det nordlige kælvningsområde. Den vælger et kælvningsområde, der ligger 25 km længere nordvest end kælvningsområdet for de 3 andre migrerende rens-

dyr. I løbet af de næste par år (1997-1999) returnerer den ikke til vinterområdet på Akia, men bliver nord for Fiskefjord.



Figur E.19 Vandringsmønster for ét af de satellitmærkede rensdyr (nr. 2701). Positionerne er farvet efter tidspunkt med rød (forår '97) over gul, grøn (sommer / vinter '97/'98) og blå (forår '98) til lilla (vinter '99).

E.5.1.3 Usikkerhed i home range estimering

Usikkerheder i *home range*-estimering kan tilskrives flere årsager:

- Usikkerhed i positionsbestemmelse
- Usikkerhed i positionernes tilfældighed
- Usikkerhed i den statistiske metode

Positionsbestemmelse

Usikkerhed i positionsbestemmelsen er gennemgået i afsnit E.2.2 og den gennemsnitlige usikkerhed af positioner anslås til at være ± 371 m. Variationer op til flere km blev dog fundet i de omtalte tests af sensorerne.

Skævhed datamængden

Usikkerhed i estimeringen af *home ranges* kommer også fra den eventuelle skævhed i datamængden, som er forårsaget af relieffet. NOAA satellitten er i gennemsnit kun over horisonten i 10 minutter ved hver overflyvning. Satellitten anvender, som nævnt, doblereffekten til bestemmelse af positionen og jo flere signaler den kan indsamle under overflyvningen, desto større bliver sikkerheden i positionsbestemmelse. I reliefrige områder kan ekstra usikkerhed forekomme, hvis rensdyret med senderen går i en dal eller nedefor et fjeld så tiden, hvor NOAA satellitten kan "se" senderen bliver væsentligt nedsat. Dermed får positionsbestemmelsen en lavere nøjagtighed og disse positioner vil så blive frasorteret, hvis de kategoriseres som usikkerhed under 1-3. I forbindelse med estimering af *home ranges* kan der således være områder, hvor rensdyrene tilbringer meget tid som aldrig vil opnå en sikkerhed i positionsbestemmelse, der inkluderer dem i analysen.

Metodevalg

Den her anvendte statistiske metode introducerer yderligere en usikkerhed for anvendelsen af de estimerede *home ranges*. Seaman og Powell (1996) har i en test af usikkerheden for kernel-metoder til *home range* estimering

konkluderet, at anvendelsen af *Fixed kernel methods* med LSCV giver den mindste usikkerhed. I et tidligere studie fandt Boulanger og White (1990) at *harmonic mean estimator* gav den mindste usikkerhed af de på daværende tidspunkt mest anvendte metoder. Seaman og Powell (1996) viste at også *harmonic Mean* blev overgået af *Fixed kernel estimator* metoden, som er anvendt i dette studie.

Tilsammen giver ovennævnte parametre en usikkerhed på den estimerede *home range*. På baggrund af tilgængelige data og metoder er resultatet dog det bedste, som kan opnås på nuværende tidspunkt. En topografisk analyse ville kunne estimere, hvor stor en fejlkilde relieffet spiller i analysen, men da anvendelige højdemodeller ikke er til rådighed (afsnit C.2.3.2) må sådan en estimering afvente fremtidige analyser.

E.5.2 Fordeling af vegetationstyper

Fordelingen af vegetationstyperne i rensdyrenes *home ranges* er præsenteret i afsnit E.4.3 ovenfor. De enkelte sæsoner fra forskellige år er slået sammen, så hver sæson repræsenterer observationer fra flere år (1997-1999). Dermed skabes en usikkerhed i analysen, men da en sammenligning af *home ranges* for sæsonerne viser at rensdyrene fouragerer i samme områder fra år til år er det valgt at se bort fra denne usikkerhed. For nogle af de analyserede sæsoner er analyser dog delt op i flere *home ranges*, da nogle af rensdyrene som beskrevet migrerer, mens andre er stationære.

Topografi og klima

Fordelingen af vegetationstyperne afspejler i høj grad de klimatiske og topografiske bestemte forskelle i vegetationen, som blev beskrevet i kapitel B.2. Således er det tydeligt at jo nærmere rensdyr fouragerer ved isen, desto større bliver andelen af steppe og græsland i deres *home ranges*. Områder i kystnære egne har derimod en større andel af lavholdig dværgbuskhede og dværgbuskhede. Om end vinterområderne i Region Nord ikke kan klassificeres som kystnære, er der næsten 20% større dække af dværgbuskhede i disse end i kælvningsområderne.

Sammenligning med direkte observationer

Thing (1984) har foretaget en analyse af rensdyrenes fødevalg ved Kangerlussuaq baseret på direkte observation af rensdyrene. Observationerne blev foretaget i perioden 1977-1980 og kan således ikke direkte sammenlignes med de her analyserede satellitbaserede positioner. Endvidere er opdelingen af vegetationstyperne ikke ens. Generelle træk i fødevalg i de forskellige sæsoner kan dog sammenlignes. For eksempel viser Thing (1984) at rensdyrene i perioden fra brunst til midtvinter primært anvender frodige dværgbuskheder til fouragering. Dette mønster genfindes på Figur E.13, hvor dværgbuskheder sammen med kær- og kratområder er hyppigere repræsenteret i kerneområderne end i hele *home range*. En svag uoverensstemmelse findes i kælving- og post-kælvningsæsonerne, hvor Figur E.13 viser en øget udnyttelse af overflader med specielt fjeldmark og steppe, mens Thing (1984) tilskriver disse typers anvendelse til primært at blive anvendt før kælvningsperioden. I en analyse af dyrenes fortrukne vegetationstype har Thing (1984) udarbejdet et preference-indeks. Af denne analyse fremgår det at rensdyr specielt i perioden fra postkælving til brunst foretrækker de frodige vegetationstyper. Dette stemmer med at der i nærværende studie er fundet en hyppigere forekomst af kær, krat og græsland i de perioder (Figur E.13).

Små forskelle og ligheder kan således findes i de to studier, men der er ingen ensartet konklusion at drage ved sammenligningen. En stor forskel i de to studier er da også, at hvor den direkte observation af dyrene giver et absolut bud på om rensdyret fouragerer på daværende tidspunkt, er den satellitbase-

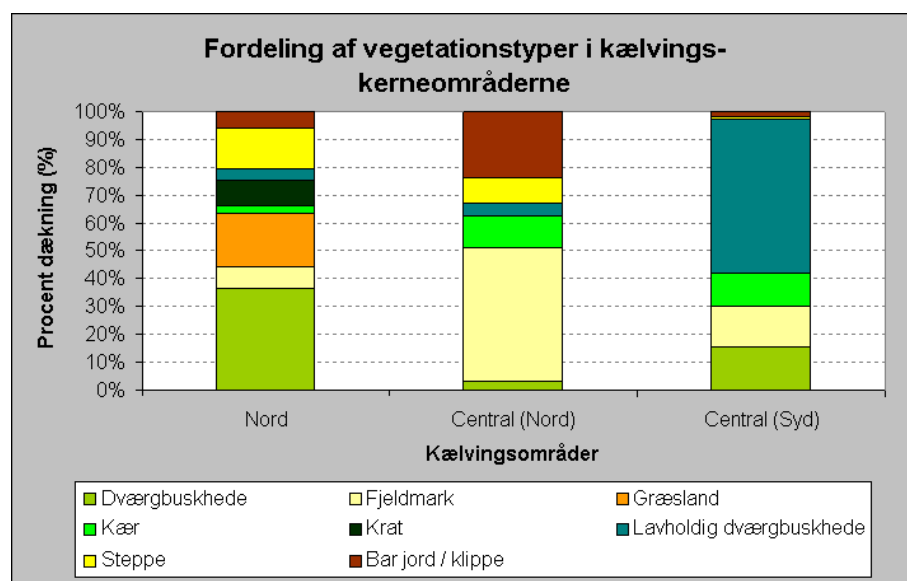
rede position kun et udtryk for hvor rensdyret opholder sig og ikke om det reelt fouragerer på positionen.

Lignende studier (om end ikke så omfattende) af fødevalg i Region Central er foretaget på tamren-bestanden ved Itinnera og vildrenbestanden syd for Ameralik, og kan dermed ikke sammenlignes med analyserne af fødevalget på Akia og nord for Godthåbsfjorden (Lassen og Aastrup 1981, GFM 1986).

E.5.2.1 Forskelle og ligheder i kælvningsområder

Rensdyrene fouragerer mest i kælvningsperioden (Thing, 1984), og da kælvningsperioden er en af de vigtigste for rensdyrene (Klein, 1991), er det valgt at foretage en nærmere analyse af kælvningsområderne.

I afsnit E.4.3.4 blev en sammenligning af de foretrukne vegetationstyper i kælvningsområderne i de to regioner præsenteret. Sammenligningen viste en tydelig forskel, hvor specielt det sydlige kælvningsområde i Region Central var forskelligt fra de to andre. I dette område er det primært kær og lavholdig dværgbuskhede som bliver foretrukket af rensdyrene, hvor det i de andre er mere sparsomt bevoksede vegetationstyper som steppe, fjeldmark og bar jord / klippe der foretrækkes. I Region Nord er også græsland og lavholdig dværgbuskhede foretrukket. Den lavholdige dværgbuskhede er i dette område meget sparsomt udbredt og udgør således under 5% af det samlede vegetationsdækkede areal i kerneområdet.



Figur E.20 Relativ fordeling af de vegetationsdækkede overflader indenfor hvert kælvningskerneområde.

Dette fremgår også af Figur E.20, som viser en sammenligning af den relative fordeling af vegetationstyperne fra tidligere figurer. I Region Central er det sydlige kælvningsområde meget ensartet, hvad vegetationstyperne angår. Her dominerer lavholdig dværgbuskhede med næsten 60% i dækningsgrad (af de vegetationsdækkede overflader), mens kær, fjeldmark og dværgbuskhede hver udgør omkring 15%. I det nordlige kælvningsområde i regionen er de sparsomme vegetationstyper dominerende og de mere frodige vegetationstyper (dværgbuskhede, kær og lavholdig dværgbuskhede) udgør under 20% af det samlede vegetationsdækkede areal. I Region Nord er dværgbuskheden dominerende med 35% dækning efterfulgt af græsland som udgør cirka 20%. Også krat er tilstede i dette område, mens der som før nævnt ikke er meget lavholdig dværgbuskhede (4.2%).

E.6 Konklusion

Af analysen af de satellitbaserede positioner for 15 rensdyr i Region Nord og Central kan der drages flere konklusioner.

Opsummering

I denne analyse er de satellitbaserede positioner blevet anvendt til en analyse af rensdyrenes vandringsmønstre og dette er blevet anvendt til at estimere *home ranges* for rensdyrenes økologiske sæsoner. Vegetationens fordeling indenfor og imellem disse områder er blevet analyseret ved hjælp af vegetationskortene fra Sektion C.

Migrerende og stationære populationer

I Region Central forekommer i hvert fald 2 primære vandringsmønstre, hvoraf det ene bygger på en population af stationære rensdyr, som tilbringer hele året på den nordlige del af Akia. Den anden population er på den nordlige del af Akia gennem vintersæsonen, men migrerer i foråret til et kælvningsområde cirka 100 km nordøst for deres vinterområde. Ét rensdyr havde et tredje vandringsmønster, som startede i foråret på den nordlige del af Akia, men derefter fandt startede et nyt mønster med kælvning og vinterområder nord for Fiskefjorden. Dette ene rensdyr kan på trods af at det udgør mere end 10% af datasættet, ikke være udtryk for et tredje vandringsmønster med separate vinter og kælvningsområder, men give basis for yderligere undersøgelser af de områder, som rensdyret har benyttet.

I Region Nord har alle de mærkede rensdyr et vandringsmønster, hvor de tilbringer vinteren cirka 20 km vest for Kangerlussuaq og i foråret migrerer ind mod indlandsisen for at kælle.

Vegetationens fordeling i kerneområderne

Vegetationen i *home range* områderne følger i store træk de forskelle, som er forårsaget af klimatiske og topografiske faktorer. Ved en analyse indenfor *home range* kan dyrenes fortrukne vegetationstype dog findes ved en analyse af kerneområdernes (50% UD) fordeling af vegetation i forhold til hovedområdernes (95% UD). Kerneområderne udgør mellem 8% og 25% af hovedområderne, men bliver anvendt 50% af tiden af rensdyrene.

I Region Nord anvender rensdyrene i brunst og vinterperioden primært områder med dværgbuskhede og kærrområder. Kærrområderne på vegetationskortet kan dog være et udtryk for nordvendte skråninger med skygge (jvf. afsnit C.6.1.3) og istedet være fugtig dværgbuskhede. I kælvning- og post-kælvningsperioderne er det primært fjeldmark som anvendes, mens det i sommerperioden er græsland, som er hyppigere repræsenteret. I Region Central er der to markante områder, hvad angår vegetationen: De nordlige kælvning- og post-kælvningområder, hvor sparsomme vegetationstyper som fjeldmark og steppe er dominerende og de sydlige, som anvendes resten af året (og i kælvningsperioden for nogle dyr), hvor den lavholdige dværgbuskhede dominerer.

Sammenligning af kælvningsområderne

En direkte sammenligning af sammensætningen af vegetationstyperne i de tre kælvningsområder i Region Nord og Central er foretaget på basis af de satellitbaserede positioner og giver et overblik over de vegetationsrelaterede forskelle i de tre områder.

De tre områder er vidt forskellige i deres sammensætning af vegetationstyper. I Region Nord er det dværgbuskhede, græsland og steppe som dominerer (>60%), i det nordlige kælvningsområde i Region Central er det fjeldmark og bar jord / klippe (>70%) der dominerer, mens det i det sydlige

kælvningsområde er den lavholdige dværgbuskhede, som dækker størstedelen af de vegetationsdækkede arealer (ca. 60%).

Perspektivering

Analysen er endvidere et eksempel på anvendelsen af vegetationskortene til forvaltningsrelateret brug i Grønland. Vegetationskortene vil i kombination med de her præsenterede analyser danne grundlag for grundigere analyser af rensdyrenes sundhedstilstand og levevilkår i Vestgrønland. Fremtidige vomundersøgelser og GPS-mærkning vil muliggøre denne anvendelse af kortene, og dermed tilvejebringe en mere detaljeret viden om rensdyrenes fødegrundlag og habitatvalg.

Et eksempel på sådanne undersøgelser er *Projekt 100 rensdyr* som Grønlands Naturinstitut p.t. er ved at afslutte. 100 rensdyr er blevet analyseret for fødevalg ved vomanalyser, genetisk sammensætning ud fra DNA-analyser etc. Endvidere findes der et stort datamateriale i kæber fra rensdyr, som vil gøre det muligt at analysere og sammenholde forskelle i alder, størrelse og sundhedstilstand imellem de forskellige områder.

Basis for sådanne undersøgelser er således tilvejebragt og kan i de kommende år anvendes til mere dybdegående forståelse af rensdyrene i Vestgrønland.

F Opsummering og perspektivering

Formålet med denne sektion er at opsummere resultaterne fra de foregående sektioner, at sammenholde disse, at demonstrere anvendelsen ved forvaltningsmæssige opgaver og perspektivere på fremtidige anvendelser.

F.1.1 Vegetationskortlægning

I Sektion C blev vegetationskortlægningen af de tre hovedområder i Vestgrønland præsenteret. Med anvendelse af Landsat TM satellitdata er der foretaget en kvalitativ kortlægning af udvalgte vegetationstyper samt en kvantitativ analyse af fordelingen af disse. Områderne er udvalgt så de dækker de primære områder for rensdyr i Vestgrønland.

Vegetationsklasser

Kortlægningen har resulteret i kort for de tre hovedområder på Vestkysten, med i alt 9 forskellige vegetationstyper samt 4-5 vegetationsløse klasser. De 9 vegetationsholdige typer er: krat, kær, græsland, opdyrket/frodig vegetation, dværgbuskhede, lavholdig dværgbuskhede, steppe, fjeldmark og bar jord/klippe. Estimeringen af den arealmæssige udbredelse af vegetationstyper er god og muliggør studier hvor en relativ fordeling af vegetationstyper er vigtig. Blandt andet er det fundet at lavholdig dværgbuskhede i Nuukområdet udgør over 20% af arealet mens typen i de andre to områder udgør under 5%.

Usikkerhedsvurdering

I forbindelse med kortlægningen er der foretaget en omfattende usikkerhedsvurdering af kortene hvor den overordnede usikkerhed for Kangerlussuaq og Nuukområdet er henholdsvis 76.1% og 56.4%. For Sydgrønland har det ikke været muligt at foretage feltarbejde til usikkerhedsvurderingen hvorfor denne er baseret på træningsområder og dermed ikke sammenlignelig med andre usikkerhedsvurderinger.

På baggrund af sammenligning med tilsvarende studier af arktisk vegetation konkluderet at usikkerheden af dette arbejde ikke adskiller sig væsentligt fra andre studier. Usikkerhedsvurderingen inkluderer udover den traditionelle *confusion matrix* også en *fuzzy*-vurdering, som giver en graderet usikkerhedsvurdering og mulighed for at vurdere graden af homogenitet. I Kangerlussuaqområdet er der således fundet at 43.2% af alle pixels har tilhørsforhold til mere end én vegetationstype mens den tilsvarende andel for Nuukområdet er 51%.

Usikkerhedsvurderingen i Kangerlussuaq- og Nuukområdet har vist at vegetationskortenes kvalitet ikke er optimal. Dette skyldes primært at de anvendte Landsat TM data ikke repræsenterer samme optimale tidspunkt indenfor hvert område og at det ikke har været muligt at foretage en terrænkorrektion af Landsat TM dataene. Endvidere ville et mere omfattende feltarbejde sikre dels en bedre kortlægning men i høj grad også en bedre usikkerhedsvurdering.

Formidling

Ved at inkludere kortene på den vedlagte Data-CD, og gennem en grundig gennemgang af baggrund og usikkerheder ved kortene, er disse gjort anvendelige for relevante brugere i Grønland (for eksempel forvaltning og fanger- og fåreavlerforeningerne). På baggrund af resultaterne på Data-CD'en er det

endvidere muligt at foretage videre analyser af vegetations fordeling i de tre hovedområder.

Perspektivering

Ved fremtidig vegetationskortlægning i Grønland er det vigtigt at foretage terræncorrekktion af de anvendte satellitbilleder. Andre studier af arktisk vegetation har vist at resultatet af kortlægningen herved kan forbedres (Franklin 1990, 1991). Data er nu til rådighed for en gentagelse af kortlægningen med yderligere feltobservationer. Under antagelse af at vegetationsdækket ændres meget langsomt vil nye feltobservationer kunne anvendes i kombination med ældre til forbedring af kortene. Siden 1999 har Landsat 7 ETM+ været i funktion og med en pris på kun \$600 for en fuldscene vil nye billeder muliggøre en relativt billig forbedring af kortlægningen.

Ved at kombinere de producerede vegetationskort med de botaniske analyser (Lund, *in prep.*) er det muligt at differentiere botaniske forskelle indenfor en vegetationstype. Således fremgår det at dværgbuskhede i indlandet ved Kangerlussuaq primært er domineret af *Salix glauca* og *Betula nana* mens det ved kysten er *Empetrum nigrum*, som dominerer.

Det overordnede formål, at skabe et kortlægningsgrundlag for økologiske analyser af forholdet mellem vegetation og rensdyrs levevilkår anses for opfyldt. Det understreges at det forvaltningsmæssige perspektiv først kan opfyldes når der er tilvejebragt viden om for eksempel rensdyrs kondition og reproduktion i de undersøgte områder.

F.1.1.1 Gradientbetingede vegetationsforskelle

Metoderne fra den retrospektive AVHRR analyse kan anvendes som supplement til vegetationskortlægningen. Metoderne er udviklet til på basis af AVHRR data, at beskrive snesmeltning og vækstsæson for en given lokalitet og kan dermed anvendes som baggrund for analyser af forskelle i vækstbetingelser på forskellige lokaliteter.

Afslutningen af snesmeltningen og længden af vækstsæsonen er parametre, som har stor indflydelse på vegetationsdækket i Vestgrønland. Parametrene er blevet anvendt til analyse af klimaændringer (Goldman og Verbyla 1999, Markon *et al.* 1995, Shibayama *et al.* 1999, Zhou *et al.* submitted). Parametrene kan dog også anvendes til at analysere forskelle imellem områder med samme vegetationstype. Dværgbuskheder med gennemsnitlig sent snedække vil have større sandsynlighed for at indeholde *Cassiope tetragona* end områder med meget tidligt snedække, som vil have større sandsynlighed for at indeholde *Dryas integrifolia*. Disse to dværgbuske adskiller sig blandt andet ved at have forskellige tolerancer omkring snedækket.

F.1.2 Retrospektiv AVHRR analyse

AVHRR billeder med 1 km opløsning er anvendt til illustration af en midelvækstsæson for Vestgrønland. Data fra 1983-1996 er anvendt sammen med en web-baseret præsentation og giver et overordnet billede af snesmeltning og vækstsæson.

Modellering

Da de indkøbte billeder ikke optimalt beskriver start og slut af vækstsæsonen, er der anskaffet mere komplette dataserier for to udvalgte lokaliteter på Vestkysten. Disse er anvendt til at udvikle og afprøve metoder til beskrivelse af snesmeltningen og vækstsæsonen i Vestgrønland. De anvendte metoder er baseret på modellering af data fra de enkelte år ved hjælp af en symmetrisk sigmoidfunktion til beskrivelse af snesmeltningen og en dobbel-logistisk funktion til beskrivelse af vækstsæsonen. Modellerne viser en meget god

overenstemmelse med data ($R^2 > 0.85$, $P = 99.9$) og gør det muligt at estimere: start og slut af snesmeltning, start, optimum og slut for vækstsæsonen samt MaxNDVI for det pågældende år.

Perspektivering

Den retrospektive analyse af sne- og vegetationsdækket på to udvalgte lokaliteter i Vestgrønland kan anvendes som baggrund for analyser til forståelse af 1) ændringer i fødegrundlaget for rensdyr og moskusokser i Vestgrønland og 2) samspillet mellem vegetation og dyrenes kondition og reproduktion. Det er dog vigtigt at der anvendes den bedste rumlige opløsning af AVHRR, idet 5 km data vil dække mange forskellige vegetationstyper. Til store regionale og globale studier er 5 km opløsningen stadig den mest anvendte, da man med relativt få billeder kan få en fuld dækning af et stort område (Cracknell, 1997). På baggrund af de præsenterede metoder vil det være oplagt i nær fremtid at foretage indkøb af AVHRR HRPT data for hele Vestkysten, så de største huller i dataserien (af Asiaq's AVHRR billeddata) kan lukkes og metoderne anvendes på dette datasæt.

I metodeudviklingen i Sektion D, blev der udvalgt to dværgbuskhedeområder; ét i Nuukområdet og ét i Kangerlussuaqområdet. Forskelle imellem de to områder er betinget dels af forskelle i klima (temperatur og nedbør) men også af forskelle i stråling. Analysen af NDVI-billederne vil give mulighed for at sammenligne frodighed imellem områder og dermed give et udtryk for forskelle i vegetationens biomasse (Hope *et al.*, 1993).

Kombination af AVHRR og Landsat TM

Sammenholdt med de detaljerede vegetationskort vil metoderne muliggøre en yderligere analyse af lokale og regionale forskelle i vegetationsdækket, og dermed give et bud på hvilke plantearter, som er dominerende i disse områder. En kombination af den retrospektive AVHRR analyse og vegetationskortene vil give mulighed for bredere anvendelse af begge datasæt ved studier af rensdyr og moskusokseres fødegrundlag samt med henblik på forvaltning af naturressourcerne. Næste skridt er derfor at anskaffe et datagrundlag for hele Vestkysten, tilsvarende punktdataene, som er anvendt i AVHRR analysen.

I forhold til rensdyrbestanden er et vigtigt perspektiv, at sætte data vedrørende kalveproduktion i forhold til eksempelvis forekomsten af sent snedække.

F.1.3 Analyse af vegetation i satellitmærkede rensdyrs kerneområder

I Sektion E er vegetationskortene anvendt til at analysere fordelingen af vegetationstyper indenfor rensdyrenes *home ranges*. Analysen er et godt eksempel på hvordan vegetationskortene kan anvendes i forvaltningsrelaterede opgaver, idet viden om fødegrundlaget i rensdyrenes primære områder, er vigtig for forståelsen af eventuelle ændringer i bestanden. I Vestgrønland har bestanden af rensdyr indenfor de seneste 30 år varieret fra anslået 100.000 til 10.000 dyr (Grønlands Naturinstitut, 1998). I dag anslås bestanden til at være på mellem 30.000 og 45.000 dyr (C. Cuyler, pers. komm.).

Vegetationens fordeling i home ranges

15 simler i Region Nord og Region Central blev i vinteren 1997 og vinteren 1998 mærket med satellitsendere af Grønlands Naturinstitut. På baggrund af disse data er der foretaget en analyse af fordelingen af vegetationstyper i rensdyrenes foretrukne områder (*home ranges*). Analysen blev foretaget ved estimering af *fixed kernel home range utilization distribution* (Worton, 1989) hvor 95% fordelingen anvendes for samlede *home range* og 50% fordelingen anvendes som udtryk for kerneområder. Fra analysen blev det fundet at rensdyrene anvender forskellige kerneområder i løbet af året og at vegetatio-

nens fordeling indenfor disse ligeledes varierer fra sæson til sæson. Fordelingen af vegetationstyperne i de tre lokaliserede kælvingsområderne adskiller sig ved i Region Nord at være primært dværgbuskhede og græsland, i Region Centrals nordlige område at være primært fjeldmark og kær og i det sydlige kælvingsområde i Region Central at være lavholdig dværgbuskhede. Derved adskiller specielt Akia sig fra de andre områder ved at have et udbredt lavdække mens det i de andre områder kun er sporadisk til stede.

Usikkerhed

Resultaterne fra analysen indeholder en vis usikkerhed, som dels stammer fra usikkerheden i positionsbestemmelserne af dyrene og dels fra usikkerheden i vegetationskortene. Idet resultaterne beskriver den relative fordeling af vegetationstyper indenfor ganske store områder (150 km² – 2000 km²) er usikkerhederne dog acceptable.

Perspektivering

For fremtidige studier af rensdyrenes fødegrundlag vil en kombination med AVHRR analysen tilføje muligheden for at analysere rensdyrenes kælvingsområder i forhold til snesmeltningen og vækstsæsonens start. Kombineret med vomanalyser og lignende studier af fødevalg vil resultaterne af dette studie give en grundig basis for forståelsen af rensdyrenes forhold til fødegrundlaget.

G Referencer

- AMAP (1998). *AMAP Assessment Report: Arctic Pollution Issues*. Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP), Oslo, Norge. xii+859 s.
- Andersen, T. (1982). *Operational snow mapping by satellites*. In Hydrological aspects of Alpine and High-Mountain Areas, edited by J.W.Glen (IAHS Publication), 138 sider, s. 149-154.
- Arino, O., Brockmann, C., Veraini, B., Pittella, G. (1995). *ESA products and processing algorithms for Landsat TM*. Section 5.3.2/5.3.3.
<http://earth1.esrin.esa.it/tm;internal&sk=ROBOT>
- Bay, C. (1998). *Vegetationsundersøgelser i Godthåbsfjordsområdet*. Grønlands Botaniske Undersøgelse, Botanisk Museum, København.
- Bay, C. (1997). *Floristic division and vegetation zonation of Greenland of relevance to a circumpolar arctic vegetation map*. Proceedings of The 2nd Circumpolar Arctic Vegetation Mapping Workshop, Arendal, Norway, 19-24 May 1996 and The CAVM-North America Workshop, Anchorage, Alaska, US, 14-16 January 1997. INSTAAR, University of Colorado. s. 27-31.
- Bay, C., Philipp, M., Strandberg, B. (1999). *Karplanter*. i Born, E.W., Böcher, J. (eds.) *Grønlands Økologi – En grundbog*. Atuakkiorfik Undervisning 1999. 431 s.
- Bay, C., Holt, S. (1986). *Vegetationskortlægning af Jameson Land 1982-1986*. Grønlands Fiskeri og Miljøundersøgelser, Grønlands Botaniske Undersøgelser. 40 s.
- Berendse, F., Jonasson, S. (1992). *Nutrient use and nutrient cycling in Northern ecosystems*. i Chapin III, F.S., Jefferies, R.L., Reynolds, J.F., Shaver, G.R., Svoboda, J.(eds): *Arctic ecosystems in a changing climate*. Academic Press. 460 s.
- Berk, A., Bernstein, L.S., Robertson, D.C. (1989). *MODTRAN: A moderate resolution model for LOWTRAN 7*. GL-TR-89-0122. Geophysical Laboratory, Bedford, MA, USA.
- Billings, W.D. (1992). *Phytogeographic and evolutionary potential of the arctic flora and vegetation in a changing climate*. i Chapin III, F.S., Jefferies, R.L., Reynolds, J.F., Shaver, G.R., Svoboda, J.(eds): *Arctic ecosystems in a changing climate*. Academic Press. 460 s.
- Bliss, L.C., Matveyeva, N.V. (1992). *Circumpolar Arctic Vegetation*. i Chapin III, F.S., Jefferies, R.L., Reynolds, J.F., Shaver, G.R., Svoboda, J.(eds): *Arctic ecosystems in a changing climate*. Academic Press. 460 s.
- Born, E., Böcher, J. (ed.) (1999). *Grønlands økologi*. Atuakkiorfik Undervisning, Grønlands Natur og Miljøforvaltning. 340 s.
- Boulanger, J.G., White, G.C. (1990). *A comparison of home-range estimators using Monte Carlo simulation*. Journal of Wildlife Management, Vol. 54, No. 2, s. 310-315.

- Broge, N.H., Hvidberg, M., Hansen, B.U., Andersen, H.S., Nielsen, A.A. (1997). *Analyses of spectral-biophysical relationship for a wheat canopy*. Pres. at Third International Airborne Remote Sensing Conference and Exhibition, 7-10 July, Copenhagen, Denmark.
- Brossard, T., Joly, D. (1994). *Probability models, remote sensing and field observation: test for mapping some plant distributions in Kongsfjord area, Svalbard*. Polar Research 13, s. 153-161.
- Burt, W.H. (1943). *Territoriality and home range concepts as applied to mammals*. Journal of Mammalogy 24:346-352.
- Böcher, C. (1999). *RenVeg – AVHRR analyse*. Ikke publiseret rapport, Asiaq, Nuuk.
- Böcher, T.W. (1954). *Oceanic and continental vegetational complexes in southwest Greenland*. Meddelelser om Grønland 148, 1. 336 s.
- Caselles, V., García, M.J.L. (1989). *An alternative simple approach to estimate atmospheric correction in multi temporal studies*. International Journal of Remote Sensing 10(6), s. 1127-1134.
- Chavez, Jr. P. S. (1988). *An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multi spectral data*. Remote Sensing of Environment, Vol. 24, s. 459-479.
- Chavez, P.S. (1989). *Radiometric calibration of Landsat Thematic Mapper multispectral images*. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol.55, No.9, s. 1285-1294.
- Cihlar, J., Chen, J.M., Li, Z., Huang, F., Latifovic, R., Dixon, R. (1998). *Can interannual land surface signal be discerned in composite AVHRR data?* Journal of Geophysical Research, Vol. 103, No. D18, s. 23163-23172.
- Cihlar, J., Manak, D., Voisin, N. (1994). *AVHRR bidirectional reflectance effects and compositing*. Remote Sensing of Environment, Vol. 48, s. 77-88.
- Civco, D. L. (1989). *Topographic normalization of Landsat Thematic digital imagery*. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol.55, No.9, s.1303-1309.
- Cohen, W.B. (1991). *Response of vegetation indices to changes in three measures of leaf water stress*. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 57, No. 2, s. 195-202.
- Colby, J.D. (1991). *Topographic Normalization in Rugged Terrain*. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 57, No. 5, s. 531-537.
- Colpaert, A., Kumpula, J., Nieminen, M. (1995). *Remote Sensing, a tool for reindeer range land management*. Polar Record 31(177), s. 235-244.
- Conese, C., Gilabert, M.A., Maselli, F., Bottai, L. (1993). *Topographic normalization of TM scenes through the use of an atmospheric correction method and digital terrain models*. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol.59, No.12, s. 1745-1753.

Congalton, R.G. (1988a). *Using spatial autocorrelation analysis to explore the errors in maps generated from remotely sensed data*. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 54, No. 5, s. 587-592.

Congalton, R.G. (1988b). *A comparison of sampling schemes used in generating error matrices for assessing the accuracy of maps generated from remotely sensed data*. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 54, No. 5, s. 593-600.

Congalton, R.G. (1991). *A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data*. Remote Sensing of Environment, Vol. 37, s. 35-46.

Congalton, R.G., Green, K. (1993). *A practical look at the sources of confusion in error matrix generation*. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 59, No. 5, s. 641-644.

Cracknell, A.P. (1997). *The Advanced Very High Resolution Radiometer*. Taylor & Francis, London. 534 s.

Craighead, J.J., Craighead, F.L., Craighead, D.J., Redmond, R.L. (1988). *Mapping arctic vegetation in Northwest Alaska using Landsat MSS imagery*. National Geographic Research, Vol. 4, No. 4, s. 496-527.

Crippen, R.E. (1989). *A simple spatial filtering routine for the cosmetic removal of scan-line noise from Landsat TM P-tape imagery*. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol.55, No. 3, s. 327-331.

Cuyler, C., Linnell, J.D.C. (in prep.). *Satellitmærkede rensdyrs vandringer i Vestgrønland*. i Samspillet mellem vegetation, rensdyr og menneskelige aktiviteter i Vestgrønland.

Danish Polar Center (1998). *ZERO – 3rd annual report 1997*. Danish Polar Center, Ministry of Research and Information Technology. 68 s.

Di, L., Hastings, D.A. (1995). *Temporal stability of some global NDVI products derived from NOAA/AVHRR GVI*. International Journal of Remote Sensing, Vol. 16, No. 18, s. 3569-3583.

Dingle, H. (1996). *Migration. The biology of life on the move*. Oxford University Press. Oxford. 474 s.

DMI (1998). *Klimadata fra Grønland 1961-1990*.

Dozier, J. (1989). *Spectral signature of alpine snow cover from the Landsat Thematic Mapper*. Remote Sensing of Environment, Vol. 28, s. 9-22.

Dubayah, R. (1992). *Estimating net solar radiation using Landsat Thematic Mapper and digital elevation data*. Water Resources Research, Vol.28, No.9, s.2469-2484.

Eck, T.F., Deering, D.W., Vierling, L.A. (1997). *Arctic tundra albedo and its estimation from spectral hemispheric reflectance*. International Journal of Remote Sensing, Vol. 18, No. 17, s. 3535-3549.

Ekstrand, S. (1996). *Landsat TM-based forest damage assessment: Correction for topographic effects*. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 62, No. 2, s. 151-161.

Elvebakk, A. (1985). *Higher phytosociological syntaxa on Svalbard and their use in subdivision of the Arctic*. Nordic Journal of Botany, 5, s. 273-284.

ENVI 3.1. (1999). *ENVI User's Guide. Vers. 3.1*. Research Systems Inc. Boulder, Colorado.

Feilberg, J. (1984). *A phytogeographical study of South Greenland. Vascular plants*. Meddelelser om Grønland, Bioscience 15. 70 s.

Ferguson, R.S. (1991). *Detection and classification of muskox habitat on Banks Island, Northwest Territories, Canada, using Landsat Thematic Mapper data*. Arctic, Vol. 44, supp. 1, s. 66-74

Fily, M., Dedieu, J.P., Durand, Y. (1999). *Comparison between the results of a snow metamorphism model and remote sensing derived snow parameters in the Alps*. Remote Sensing of Environment, Vol. 68, s. 254-263.

Fisher, A. (1994). *A simple model for the temporal variations of NDVI at regional scale over agricultural countries. Validation with ground radiometric measurements*. International Journal of Remote Sensing, Vol. 15, No. 7, s. 1421-1446.

Fitzpatrick-Lins, K. (1981). *Comparison of sampling procedures and data analysis for a land-use and land-cover map*. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 47, No. 3, s. 343-351.

Feilberg, J., Fredskild, B., Holt, S. (1984). *Grønlandsblomster. Flowers of Greenland*. Ahrent Flensborg, 116 s.

Ferguson, R.S. (1991). *Detection and classification of moskux habitat on Banks Island, Northwest Territories, Canada, using Landsat Thematic Mapper data*. Arctic, Vol. 1, supp. 1, s. 66-74.

Folving, S. (1986). *Mapping and monitoring of vegetation in South-west-greenland by means of Landsat MSS data*. Bulletin du Comité Francais de Cartographie, No. 3-4, s. 44-51.

Foody, G.M. (1992). *On the compensation for change agreement in image classification accuracy assessment*. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 58, No. 10, s. 1459-1460.

Frank, T.D. (1988). *Mapping dominant vegetation communities in the Colorado Rocky Mountain Front Range with Landsat Thematic Mapper and digital terrain data*. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 54, No. 12, s.1727-1734.

Franklin S.E. (1991). *Topographic data and satellite spectral response in subarctic high-relief terrain analysis*. Arctic, Vol. 44, supp. 1, s. 15-20.

Franklin S.E. (1990). *Topographic context of satellite spectral response*. Computers and Geosciences, Vol. 16, No. 7, s. 1003-1010.

- Franklin, S.E., Lavigne, M.B., Deuling, M.J., Wulder, M.A., Hunt, Jr., E.R. (1997). *Estimation of forest leaf area index using remote sensing and GIS data for modelling net primary production*. International Journal of Remote Sensing, Vol. 18, No. 16, s. 3459-3471.
- Franklin, S.E., Peddle, D.R., Wilson, B.A., Blodgett, C.F. (1991). *Pixel sampling of remotely sensed digital imagery*. Computers and Geoscience, Vol. 17, s. 759-775.
- Fredskild, B. (1996). *A phytogeographical study of the vascular plants of West Greenland (62°20'-74°00'N)*. Meddelelser om Grønland, Bioscience 45. 157 s.
- Fredskild og Bay (1987). *Grønlands Botaniske Undersøgelse, 1987*. Botanisk Museum, Københavns Universitet.
- Frich, P. (Coordinator), Alexanderson, H., Ashcroft, J., Dahlström, B., Demarée, G.R., Drebs, A., van Engelen, A.F.V., Førlund, E.J., Hanssen-Bauer, I., Heino, R., Jónsson, T., Jonasson, K., Keegan, L., Nordli, P.Ø., Schmith, T., Steffensen, P., Tuomenvirta, H., Tveito, O.E. (1996). *North Atlantic Climatological Dataset (NACD Vers. 1) – Final Report*. DMI, Copenhagen.
- Galvão, L.S., Vitorello, I., Pizarro, M.A. (2000). *An adequate band positioning to enhance NDVI contrast among green vegetation, senescent biomass, and tropical soils*. International Journal of Remote Sensing, Vol. 21, No. 9, s. 1953-1960.
- Gilabert, M. A., Conese, C., Maselli, F. (1994). *An atmospheric correction method for the automatic retrieval of surface reflectance from TM images*. International Journal of Remote Sensing, Vol.15, No.10, s. 2065-2086.
- Golden Software (1999). *Surfer 7. User's Guide. Contouring and 3D surface mapping for scientists and engineers*. Golden Software, Inc. Colorado, USA. 619 s.
- Goldman, H., Verbyla, D. (1999). *Estimating growing season across The Alaskan Landscape using AVHRR satellite data*. <http://www.lter.uaf.edu/~dverbyla/globe/season.html>
- Gonima, L. (1993). *Simple algorithm for the atmospheric correction of reflectance images*. International Journal of Remote Sensing, Vol.14, No.6, s. 1179-1187.
- Gopal, S., Woodcock, C. (1994). *Theory and methods for accuracy assessment of thematic maps using fuzzy sets*. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 60, No. 2, s. 181-188.
- Gratto-Trevor, C.L. (1996). *Use of Landsat TM imagery in determining important shorebird habitat in the Outer Mackenzie Delta, Northwest Territories*. Arctic, Vol. 49, No. 1, s. 11-22.
- Green, A.A., Berman, M., Switzer, P., Craig, M.D. (1988). *A transformation for ordering multispectral data in terms of image quality with implications for noise removal*. IEEE transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 26, No. 1, s. 65-74

- Grønlands Fiskeri- og Miljøundersøgelser (1986). *Rensdyrundersøgelser ved vandkraftprojekt Kangerluarsunnguaq/Buksefjord, Nuuk/Godthåb 1984-1985*.
- Grønlands Naturinstitut (1998). *Grønlandske fugle, havpattedyr og landpattedyr. En status over vigtige ressourcer*. Teknisk Rapport nr. 16. Oktober 1998. 70 s.
- Gueymard, C. (1994). *Analysis of monthly average atmospheric precipitable water and turbidity in Canada and northern United States*. Solar Energy, Vol. 53, No. 1, s. 57-71.
- Gutman, G.G. (1999). *On the use of long-term global data of land reflectances and vegetation indices derived from the advanced very high resolution radiometer*. Journal of Geophysical Research, Vol. 104, No. D6, s. 6241-6255.
- Gutman, G., Ignatov, A. (1995). *Global land monitoring from AVHRR: potential and limitations*. International Journal of Remote Sensing, Vol. 16, No. 13, s. 2301-2309.
- Guyot, G., Gu, X.-F. (1994). *Effect of radiometric corrections on NDVI-determined from SPOT-HRV and Landsat TM data*. Remote Sensing of Environment 49:169-180.
- Hall, D.K., Martinec, J. (1985). *Remote Sensing of Ice and Snow*. Chapman and Hall. London. 108 s.
- Hammond, T.O., Verbyla, D.L. (1996). *Optimistic bias in classification accuracy assessment*. International Journal of Remote Sensing, Vol. 17, No. 6, s. 1261-1266.
- Hansen, B.U. (1989). *Monitoring AVHRR derived vegetation indices and biomass production in Southern Greenland*. 4th AVHRR Data Users Meeting, Reichsstadthalle, Rothenburg ob der Tauber, Germany, 5-8 September 1989.
- Hansen, B.U. (1990). *Klima- og vegetationsanalyse i et sydgrønlandsk område baseret på NOAA-AVHRR satellitdata og feltmålinger*. Licenciatopgave, Naturvidenskabelige Fakultet, Københavns Universitet.
- Hansen, B.U. (1991a). *Monitoring Natural Vegetation in southern Greenland Using NOAA AVHRR and Field Measurements*. Arctic, Vol. 44, supp. 1, s. 94-101.
- Hansen, B.U. (1991b). *Using climate and vegetation studies in southern Greenland to estimate the natural resources during the Norse Period*. Acta Borealia, Vol. 1, s. 40-55.
- Hansen, B.U. (1999). *Klimaet i Born*, E.W., Böcher, J. (eds.) *Grønlands Økologi – En grundbog*. Atuakkiorfik Undervisning 1999. 431 s.
- Hansen, B.U., Mosbech, A. (1994). *Use of NOAA-AVHRR data to monitor snow cover and spring melt-off in the wildlife habitats in Jameson Land, East Greenland*. Polar Research 13, s. 125-137.

Hansen, B.U., Søgaard, H. (1989). *Vegetations- og sne/is/sky-kortlægning af den grønlandske nationalpark 1988*. I "Nordøstgrønlandsprojektet", rekvireret af Grønlands Hjemmestyre, Natur- og miljøforvaltningen, upubl. rapport.

Hansen, L.B., Kamstrup, N., Hansen, B.U. (2000). *Estimation of net short-wave radiation by the use of remote sensing and a digital elevation model – A case study of a high arctic mountainous area*. Presented at: 6th Circumpolar Symposium on Remote Sensing of Polar Environments, 12.-14. Juni 2000, Yellowknife, Canada.

Harris, S., Cresswell, W.J., Forde, P.G., Treswhella, W.J., Wollard, T., Wray, S. (1990). *Home-range analysis using radio-tracking data – A review of problems and techniques particularly as applied to the study of mammals*. Mammal Review, Vol. 20, s. 97-123.

Hasholt, B., Søgaard, H. (1978). *Et forsøg på en klimatisk-hydrologisk regionsinddeling af Holsteinsborg kommune (Sisimiut)*. Geografisk Tidsskrift 77, s. 72-92.

Helder, D.L., Quirk, B.K., Hood, J.J. (1992). *A technique for the reduction of banding in Landsat Thematic Mapper images*. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 58(10), s. 1425-1431.

Henderson-Sellers, A., Robinson, P.J. (1986). *Contemporary climatology*. Longman Scientific & Technical, UK.

Hill, J., Mehl, W., Radeloff, V. (1995). *Improved forest mapping by combining corrections of atmospheric and topographic effects in Landsat TM imagery*. Sensors and Environmental Applications of Remote Sensing, Balkema, Rotterdam, 1995, s.143-151.

Holben, B.N. (1986). *Characteristics of maximum-value composite images from temporal AVHRR data*. International Journal of Remote Sensing, Vol. 7, No. 11, s. 1417-1434.

Holben, B.N., Justice, C.O. (1980). *The topographic effect on spectral response from nadir-pointing sensors*. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 46, No. 9, s.1191-1200.

Holt, S. 1987: *Plantelivet*. in Secher, K., others, Arnangaarnuup Qoorua, Paradisdalen i tusinde af år: Pilersuiffik, Nuuk, s. 23-33.

Hooge, P. N., Eigenlaub, B. (1997). *Animal movement extension to arcview. ver. 1.1*. Alaska Biological Science Center, U.S. Geological Survey, Anchorage, USA.

Hope, A.S., Pence, K.R., Stow, D.A. (1999). *Response of the normalized difference vegetation index to varying cloud conditions in Arctic tundra environments*. International Journal of Remote Sensing, Vol. 20, No. 1, s. 207-212.

Hunt, E.R.Jr., Rock, B.N. (1989). *Detection og changes in leaf water content using near- and middle-infrared reflectances*. Remote Sensing of Environment, Vol. 30, s. 43-54.

- Hudson, W.D., Ramm, C.W. (1987). *Correct formulation of the Kappa coefficient of agreement*. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 53, No. 4, s. 421-422.
- Iqbal, M. (1983). *An introduction to solar radiation*. Academic Press.
- Isaacs, R.G., Wang, W.C., Goldenberg, S. (1987). *Multiple scattering LOW-TRAN and FASCODE models*. Applied Opt. Vol. 26: 1272-1281.
- Jacobsen, A., Hansen, B.U. (1999). *Estimation of the soil heat flux / net radiation ratio based on spectral vegetation indexes in high-latitude Arctic areas*. International Journal of Remote Sensing, Vol. 20, No. 2, s. 445-461.
- Jakobsen, B.H. (1999). *Jordbunden*. i Born, E.W., Böcher, J. (eds.) *Grønlands Økologi – En grundbog*. Atuakkiorfik Undervisning 1999. 431 s.
- Jano, A.P., Jefferies, R.L., Rockwell, R.F. (1998). *The detection of vegetational change by multitemporal analysis of Landsat data: the effects of goose foraging*. Journal of Ecology, 86, s. 93-99.
- Janssen, L.L.F., van der Wel, F.J.M. (1994). *Accuracy assessment of satellite derived land-cover data: A review*. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 60, No. 4, s. 419-426.
- Jensen, J.J., Cappelen, J. (1994). *Jordens Klima. Guide til vejr og klima i 156 lande*. Danmarks Meteorologiske Institut. 259 s.
- Jensen, J.R. (2000). *Remote Sensing of the Environment. An earth resource perspective*. Prentice Hall, US. 544 s.
- Jensen, J.R. (1996). *Introductory Digital Image Processing. A remote sensing perspective*. Prentice Hall, New Jersey. 316 s.
- Jepsen, B.I. (1999). *Populationsgenetiske studier af vildren (R.t. groenlandicus) og tamren (R.t.tarandus) i Vestgrønland*. Specialeopgave, Botanisk Institut, Københavns Universitet.
- Jonasson, S., Shaver, G.R., Chapin, F.S. III (in press). *Biogeochemistry in the Arctic: Patterns, processes and controls*. i Schulze, E.-D., Harrison, S.P., Heimann, M., Holland, E.A., Lloyd, J.J., Prentice, I.C., Schimel, D. (Eds.) *Global biogeochemical cycles in the climate system*. Academic Press, New York.
- Joria, P.E., Jorgenson, J.C. (1996). *Comparison of three methods for mapping tundra with Landsat digital data*. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol. 62, No. 2, s. 163-169.
- Jørgensen, P.V. (1993). *Satellitbaseret kortlægning af snedække og vegetation på kystnære dele af det vestlige Grønland*. Grønlands Miljøundersøgelser (Nu: DMU/AM).
- Kane, D.L., Hinzman, L.D, Woo, M.-k., Everett, K.R. (1992). *Arctic hydrology and climate change*. i Chapin III, F.S., Jefferies, R.L., Reynolds, J.F, Shaver, G.R., Svoboda, J.(eds): *Arctic ecosystems in a changing climate*. Academic Press. 460 s.

Kauppi, P., Posch, M. (1988). *A case study of the effects of CO₂-induced climatic warming on forest growth and the forest sector*. i Parry, M.L., Carter, T.R., Konijn, N.T. *The impact of climatic variations on agriculture*. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht

Key, J. (2000). *The cloud and surface parameter retrieval (CASPR) system for AVHRR. User's guide*. Technical report. NOAA/NESDIS/ORA/ARAD/ASPT, Cooperative Institute for Meteorological Satellite Studies, University of Wisconsin-Madison. <http://stratus.ssec.wisc.edu/caspr/caspr.html>

Klein, D. (1991). *Caribou in the changing North*. Applied Animal Behaviour Science. Vol. 29, s. 279-291.

Käyhkö, J., Pellikka, P. (1994). *Remote sensing of the impact of reindeer grazing on vegetation in northern Fennoscandia using SPOT XS data*. Polar Research 13, s. 115-124.

Lafleur, P.M., Wurtele, A.B., Duguay, C. R. (1997). *Spatial and temporal variations in surface albedo of a subarctic landscape using surface-based measurements and remote sensing*. Arctic and Alpine Research, Vol. 29, No. 3, s. 261-269.

Lassen, P., Aastrup, P. (1981). *Undersøgelser over tamrenbestanden (Rangifer tarandus tarandus L.) ved Itivnera, Vestgrønland*. Danske Vildtundersøgelser, Hæfte 35, Vildtbiologisk Station. 36 s.

Limbach, W.E., Oechel, W.C., Lowell, W. (1982). *Photosynthetic and respiratory responses to temperature and light of three Alaskan tundra growth forms*. Holarctic Ecology, Vol. 5. s. 150-157.

Lüdeke, M.K.B., Ramge, P.H., Kohlmaier, G.H. (1996). *The use of satellite NDVI data for the validation of global vegetation phenology models: application to the Frankfurt Biosphere Model*. Ecological Modelling, Vol. 91, s. 255-270.

Lüdeke, P.M., Janecek, A., Kohlmaier, G.H. (1991). *Modelling the seasonal CO₂ uptake by land vegetation using the global vegetation index*. Tellus, Vol. 43B, s. 188-196.

Lund, P.M. (1993). *Fjernanalyse af højarktisk vegetation ved Zackenberg, Nordøstgrønland*. Telemark Distriksthøgskole, Hovedopgave, 65 s.

Lund, P.M., Karlsen, S.R., Villmo, L., Motzfeldt, K., Johansen, B., Høgda, K.-A. (1996). *Vegetations- og føderesourcekortlægning baseret på satellitdata i tamrenområdet Isortoq, Sydvestgrønland*. Projekt rapport, Grønlands Naturinstitut og NORUT IT A/S.

Lund, P.M. (in prep.). *Vegetationsanalyser*. i Samspillet mellem vegetation, rensdyr og menneskelige aktiviteter i Vestgrønland.

Lunetta, R.S., Congalton, R.G., Fenstermaker, L.K., Jensen, J.R., McGwire, K.C., Tinney L.R. (1991). *Remote sensing and geographic information system data integration: Error sources and research issues*. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 57, No. 6, s. 677-687.

- Lægaard, S. (1981). *Snelejer og urtelier*. i Danmarks Natur 1, Grønland eiteret af Böcher, T.W. Politiken.
- Ma, Z and Redmond, R.L. (1995). *Tau coefficients for accuracy assessment of classification of remote sensing data*. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 61, No. 4, s. 435-439.
- Markham, B.L., Barker, J.L. (1986). *Landsat MSS and TM post-calibration dynamic ranges, exoatmopsheric reflectances and at-satellite temperatures*. EOSAT Landsat Technical Notes, No. 1, s. 3-8.
- Markham, B.L., Barker, J.L. (1985). *Spectral characterisation of the Landsat Thematic Mapper sensors*. International Journal of Remote Sensing, Vol. 6, s. 697-716.
- Markon, C.J., Derksen, D.V. (1994). *Identification of tundra land cover near Teschekpuk Lake, Alaska using SPOT satellite data*. Arctic Vol. 17, No. 3, s. 222-231.
- Markon, C.J., Fleming, M.D., Binnian, E.F. (1995). *Characteristics of vegetation phenology over the Alaskan landscape using AVHRR time-series data*. Polar Record, 31 (177), s. 179-190.
- Mather, P.P. (1987). *Computer-processing of remotely sensed images*. John Wiley & Sons.
- Maxwell, B. (1992). *Arctic climate: Potential for change under global warming*. i Chapin III, F.S., Jefferies, R.L., Reynolds, J.F, Shaver, G.R., Svoboda, J.(eds): *Arctic ecosystems in a changing climate*. Academic Press. 460 s.
- McMichael, C.E., Hope, A.S., Stow, D.A., Fleming, J.B. (1997). *The relationship between active layer depth and a spectral vegetation index in arctic tundra landscapes of the North Slope of Alaska*. International Journal of Remote Sensing, Vol. 18, No. 11, s. 2371-2382.
- Meldgaard, M. (1986). *The Greenland caribou – zoogeography, taxonomy, and population dynamics*. Meddelelser om Grønland, nr. 20. 88 s.
- Meyer, P., Itten, K.I., Kelleberger, T., Sandmeier, S., Sandmeier, R. (1993). *Radiometric corrections of topographically induced effects on Landsat TM data in an alpine environment*. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 48 (4): 17-28.
- Molau, U., Mølgaard P. (1996). *ITEX Manual, Second edition*. Danish Polar Center, Ministry of Research and Information Technology.
- Moran, M.S., Jackson, R.D., Clarke, T.R., Qi, J., Cabot, F., Thome, K.J., Markham, B.L. (1995). *Reflectance factor retrieval from Landsat TM and SPOT HRV data for bright and dark targets*. Remote Sensing of Environment, Vol. 52, s. 218-230.
- Morrison, R.I.G. (1997). *The use of remote sensing to evaluate shorebird habitats and populations on Prince Charles Island, Foxe Basin, Canada*. Arctic, Vol. 50, No. 1, s.55-75.

- Mosbech, A., Hansen, B.U. (1994). *Comparison of satellite imagery and infrared aerial photography as vegetation mapping methods in an arctic study area; Jameson Land, East Greenland*. Polar Research 13, s. 139-152.
- Motzfeldt, K. et al (1996). *Forundersøgelser med henblik på udsættelse af moskusokser i Paamiut Kommune, området mellem Kuannersooq (Kvane-fjorden) og Sermilik*. Projektrapport, Grønlands Naturinstitut og NORUT IT A/S.
- Muller, S.V., Racoviteanu, A.E., Walker, D.A. (1999). *Landsat MSS derived land-cover map of northern Alaska: Extrapolation methods and a comparison with photo-interpreted and AVHRR-derived maps*. International Journal of Remote Sensing, Vol. No. , s. .
- Muller, S.V., Walker, D.A., Nelson, F.E., Auerbach, N.A., Bockheim, J.G., Guyer, S., Sherba, D. (1998). *Accuracy assessment of a land-cover map of the Kuparuk River Basin, Alaska: Considerations for remote sensing*. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol. 64, No. 6, s. 619-628.
- Myneni, R.B., Tucker, C.J., Asrar, G., Keeling, C.D. (1998). *Interannual variations in satellite-sensed vegetation index data from 1981 to 1991*. Journal of Geophysical Research, Vol. 103, No. D6, s. 6145-6160.
- Myneni, R.B., Keeling, C.D., Tucker, C.J., Asrar, G., Nemani, R.R. (1997). *Increased plant growth in the northern high latitudes from 1981-1991*. Nature, 386:698-701.
- Myneni, R.B., Asrar, G. (1994). *Atmospheric effects and spectral vegetation indices*. Remote Sensing of Environment 47: 390-402.
- Nadelhoffer, K.J., Giblin, A.E., Shaver, G.R., Linkins, A.E. (1992). *Microbial processes and plant nutrient availability in Arctic soils*. i Chapin III, F.S., Jefferies, R.L., Reynolds, J.F, Shaver, G.R., Svoboda, J.(eds): *Arctic ecosystems in a changing climate*. Academic Press. 460 s.
- NASA (1986). *Landsat to ground station interface description, revision 9. january 1986*. NASA/GSFC, Greenbelt, Maryland.
- NESDIS (2000). *Northern Hemisphere EASE-Grid Weekly Snow Cover and Sea Ice Extent*. [HTTP://nsidc.org/NSIDC/CATALOG/ENTRIES/nsi-0046.html](http://nsidc.org/NSIDC/CATALOG/ENTRIES/nsi-0046.html)
- Nilsen, L., Brossard, T., Joly, D. (1999). *Mapping plant communities in a local Arctic landscape applying a scanned infrared photograph in a geographical information system*. International Journal of Remote Sensing, Vol. 20, No. 2, s.463-480.
- NOAA web (2000). *POES planned launch schedule*. <http://www.osd.noaa.gov/sats/poeslaunch.htm>
- NSIDC (1999). *Polar Pathfinder Sampler CD-ROM*. http://nsidc.org/NASA/POLAR_PATHFINDERS/sampler.html
- Næsset, E. (1995). *A method to test for systematic differences between maps and reality using error matrices*. International Journal of Remote Sensing, Vol. 16, No. 16, s. 3147-3156.

- Oberbauer, S.F., Dawson, T.E. (1992). *Water relations of arctic vascular plants*. i Chapin III, F.S., Jefferies, R.L., Reynolds, J.F., Shaver, G.R., Svoboda, J.(eds): *Arctic ecosystems in a changing climate*. Academic Press. 460 s.
- Oechel, W.C., Callaghan, T., Gilmanov, T., Holten, J.I., Maxwell, B., Møllau, U., Sveinbjörnsson, B. (editors) (1996a). *Global Change and Arctic Terrestrial Ecosystems*. Ecological Studies. Springer, New York. 493 s.
- Oechel, W.C., Vourlitis, G. L. (1996b). *Direct effects of elevated CO₂ on arctic plant and ecosystem function*. In *Terrestrial Ecosystem Response to Elevated Carbon Dioxide* edited by Koch, W., Mooney, H. Academic Press, San Diego. s. 163-174.
- Ohmura, A., Reeh, N. (1991). *New precipitation and accumulation maps for Greenland*. Journal of Glaciology, Vol. 37, No. 125, s. 140-148
- Olsson, H. (1995). *Reflectance calibration of thematic mapper data for forest change detection*. International Journal of Remote Sensing, Vol. 16, No. 1, s. 81-96.
- Parlow, E. (1996). *Correction of terrain controlled illumination effects in satellite data*. I Progress in Environmental Remote Sensing Research and Applications. Balkema, Rotterdam. s. 139-145.
- Pedersen, C.B., Aastrup, P. (2000). *Muskoxen in Angujaartorfiup Nunaa, West Greenland: Monitoring, spatial distribution, population growth, and sustainable harvest*. Arctic, Vol. 53, No. 1, s. 18-26.
- Philipp, M. (1987). *Grønlandske blomsterplanters tilpasninger til de arktiske levevilkår*. Urt, 87-4, Kaskelot 76. s. 70-77.
- Pons, X., Sole-Sugranes, L. (1994). A simple radiometric correction model to improve automatic mapping of vegetation from multi spectral satellite data. Remote Sensing of Environment 48 (2): 191-204.
- Potter, C.S., Brooks, V. (1998). *Global analysis of empirical relations between annual climate and seasonality of NDVI*. International Journal of Remote Sensing, Vol. 19, No. 15, s. 2921-2948.
- Price, J.C. (1994). *How unique are spectral signatures?*. Remote Sensing of Environment, Vol. 49, s.181-186.
- Price, J.C. (1987). *Radiometric calibration of satellite sensors in the visible and near-infrared: History and outlook*. Remote Sensing of Environment, Vol. 22, s. 3-9.
- Proy, C., Tanré, D., Deschamps, P.Y. (1989). *Evaluation of topographic effects in remotely sensed data*. Remote Sensing of Environment, Vol. 30, s.21-32.
- Putnins, P. (1970). *The Climate of Greenland in Climates of the Polar Regions*. World Survey of Climatology, Vol. 14, edited by S. Orvig. Elsevier. s., 3-128.

Putsay, M. (1992). *A simple atmospheric correction method for the method for the short wave satellite images*. International Journal of Remote Sensing, Vol.13, No.8, s.1549-1558.

Rao, C.R.N., Chen, J. (1999). *Revised post-launch calibration of the visible and near-infrared channels of the Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) on the NOAA-14 spacecraft*. International Journal of Remote Sensing, Vol. 20, No. 18, s. 3485-3491.

Rao, C.R.N., Chen, J. (1998a). *Calibration formulae for the visible and near infrared channel of the Advanced Very High Resolution Radiometer on board the NOAA-7, -9, -11 spacecraft: An update*. <http://orbit-net.nesdis.noaa.gov/ora/calib.html>

Rao, C.R.N., Chen, J. (1998b). *Calibration formulae for the visible and near infrared channel of the Advanced Very High Resolution Radiometer on board the NOAA-14 spacecraft*. <http://140.90.207.25:8080/EBB/ml/niccal.html>

Rao, C.R.N., Chen, J. (1995). *Inter-satellite calibration linkages for the visible and near-infrared channels of the Advanced Very High Resolution Radiometer on the NOAA-7, -9, and -11 spacecraft*. International Journal of Remote Sensing, Vol. 16, No. 11, s. 1931-1942.

Rasmussen, K. (1907). *Rapport til Indenrigsministeriet over Renbejtteundersøgelses-ekspeditionens rejse i Grønland, sommeren 1905*. i Atlanten, Bind 2, hæfte 37-39, København. s.43-58.

Rasmussen, K. (1993). *An elementary introduction to satellite image processing on a PC-based system*. Ikke publicerede noter. Geografisk Institut, Københavns Universitet.

Reed, B.C, Brown, J.F., VanderZee, D., Loveland, T.R., Merchant, J.W., Ohlen, D.O. (1994). *Measuring phenological variability from satellite imagery*. Journal of Vegetation Science, Vol. 5, s. 703-714.

Rees, W.G., Williams, M. (1997). *Monitoring changes in land cover induced by atmospheric pollution in the Kola Peninsula, Russia, using Landsat-MSS data*. International Journal of Remote Sensing, Vol. 18, No. 8, s. 1703-1723.

Richter, R. (1990). *A fast atmospheric correction algorithm applied to Landsat TM images*. International Journal of Remote Sensing, Vol.11, No.1, s. 159-166.

Richter, R. (1994). *Model SENSAT-5: Sensor – Atmosphere – Target*. DLR-IB 552-01/94, DLR, Tyskland.

Richter, R. (1996a). *A spatially adaptive fast atmospheric correction algorithm*. International Journal of Remote Sensing, Vol.17, No.6, s.1201-1214.

Richter, R. (1996b). *A spatially adaptive fast atmospheric correction algorithm*. ATCOR2 User Manual. Creaso GmbH, Gilching, Tyskland. 74 s.

Richter, R. (1997). *Correction of atmospheric and topographic effects for high spatial resolution satellite imagery*. International Journal of Remote Sensing, Vol.18, No.5, s. 1099-1111.

- Richter, R. (1999). *Atmospheric correction algorithm for flat terrain: Model Atcor2*. DLR-IB 552-02/99. DLR, Tyskland.
- Ricotta, C., Avena, G., Palma, A.D. (1999). *Mapping and monitoring net primary productivity with AVHRR NDVI time-series: statistical equivalence of cumulative vegetation indices*. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, Vol. 54, s. 325-331.
- Rivard, B., Arvidson, R.E. (1992). *Utility of imaging spectrometry for lithologic mapping in Greenland*. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol. 58, No. 7, s. 945-949.
- Robinson, D.A., Dewey, K.F., Heim, R.R.Jr. (1993). *Global snow cover monitoring: An update*. Bulletin of the American Meteorological Society, Vol. 74, No. 9, s. 1689-1696.
- Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., Deering, D. W. (1973) "Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS". Third ERTS Symposium, NASA SP-351, vol. 1, pp. 309-317.
- Rouse, J.W., Haas, R.H., Schell, J.A., Deering, D.W. (1975). *Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS*. Proceedings for 3rd ERTS Symposium, Vol. 1, s. 48-62.
- Running, S.W., Loveland, T.R., Pierce, L.L. (1994). *A vegetation classification logic based on remote sensing for use in global biogeochemical models*. Ambio, Vol. 23, No. 1, s. 77-81.
- Sabins, F.F. (1987). *Remote Sensing. Principles and interpretation*. W.H. Freeman and co. New York. 450 s.
- Sakai, A., Larcher, W. (1987). *Frost survival of plants*. Springer Verlag. 321 s.
- Seaman, D.E., Powell, R.A. (1996). *An evaluation of the accuracy of kernel density estimators for home range analysis*. Ecology, Vol. 77, No. 7, s. 2075-2085.
- Semikhatova, O.A., Gerasimenko, T.V., Ivanova, T.I. (1992). *Photosynthesis, respiration, and growth of plants in the Soviet Arctic*. i Chapin III, F.S., Jefferies, R.L., Reynolds, J.F, Shaver, G.R., Svoboda, J.(eds): *Arctic ecosystems in a changing climate*. Academic Press. 460 s.
- Sermitsiaq (2000). *Der er flere rensdyr end vi tidligere troede*. Nr. 21, s. 6.
- Shabanov, N.V., Zhou, L., Knyazikhin, Y., Myneni, R.B., Tucker, C.J. (submitted). *Analysis of interannual changes in northern vegetation activity observed in AVHRR data during 1981 to 1994*. Submitted (August 2000) to: IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing.
- Shibayama, M., Salli, A., Häme, T., Iso-Iivari, L., Heino, S., Alanen, M., Morinaga, S., Inoue, Y., Akiyama, T. (1999). *Detection of phenophases of subarctic shrub canopies by using automated reflectance measurements*. Remote Sensing of Environment, Vol. 67, s. 160-180.

- Shippert, M.M., Walker, D.A., Auerbach, N.A., Lewis, B.E. (1995). *Biomass and leaf-area index maps derived from SPOT images for Toolik Lake and Imnavait Creek areas, Alaska*. Polar Record, 31 (177), s. 147-154.
- Silverman, B.W. (1986). *Density estimation for statistics and data analysis*. Chapman and Hall, UK.
- Simoncelli, E.P. (1996). *Noise removal via bayesian wavelet coring*. Proceeding of 3rd IEEE International Conference for Image Processing, Vol. 1, s. 379-382.
- Skidmore, A.K., Turner, B.J. (1989). *Assessing the accuracy of resource inventory maps*. Proceedings for International Conference and Workshop of Global Natural Resource Monitoring and Assessments: Preparing for the 21st Century. Venice, Italy, September 24th-30th 1989, Vol. 2, s. 524-535.
- Skogland, T. (1984). *Wild reindeer foraging-niche organization*. Holarctic Ecology, Vol. 7, s. 345-379.
- Slater, P.N., Biggar, S.F., Holm, R.G., Jackson, R.D., Mao, Y., Moran, M.S., Palmer, J.M., Yuan, B. (1986). *Absolute radiometric calibration of the Thematic Mapper*. SPIE Proceedings, 600, s. 2-8.
- Solheim, I., Engelsen, O., Hosgood, B., Andreoli, G. (2000). *Measurement and modeling of the spectral and directional reflection properties of lichen and moss canopies*. Remote Sensing of Environment, Vol. 72, s. 78-94.
- Spjelkavik, S. (1995). *A satellite-based map compared to a traditional vegetation map of Arctic vegetation in the Ny-Ålesund area, Svalbard*. Polar Record. 31 (177), s. 257-269.
- Spjelkavik, S. (1994). *Landsat 5 TM data as a tool in mapping of vegetation, reindeer grazing areas, and terrestrial surface temperatures on Svalbard*. Dr. scient thesis. Tromsø. Tromsø Universitet, Norge.
- Spjelkavik, S., Elvebakk, A. (1989). *Mapping winter grazing areas for reindeer on Svalbard using Landsat Thematic Mapper data*. Proceedings of Workshop on 'Earthnet Pilot Project on Landsat Thematic Mapper Applications', Frascati, Italy, December 1987, s. 199-206.
- Steffen, K., Bindscandler, R., Casassa, G., Eppler, D., Fetterer, F., Hawkins, J., Key, J., Rothrock, D., Thomas, R., Weaver, R., Welch, R. (1993). *Snow and ice applications of AVHRR in polar regions: report of a workshop held in Boulder, Colorado, 20 May 1992*. Annals of Glaciology, Vol. 17, s. 1-16.
- Stow, D., Burns, B., Hope, A. (1989). *Mapping arctic tundra vegetation types using digital SPOT/HRV-XS data. A preliminary assessment*. International Journal of Remote Sensing, Vol. 10, No. 8, s. 1451-1457.
- Stow, D., Hope, A., Boynton, W., Phinn, S., Walker, D., Auerbach, N. (1998). *Satellite-derived vegetation index and cover type maps for estimating carbon dioxide flux for Arctic tundra regions*. Geomorphology, 21, s. 313-327.
- Stow, D.A., Burns, B.H., Hope, A.S. (1993). *Spectral, spatial and temporal characteristics of arctic tundra reflectance*. International Journal of Remote Sensing, Vol. 14, No. 13, s. 2445-2462.

- Stroeve, J.C., Box, J.E., Fowler, C., Haran, T., Key, J. (in press). *Intercomparison between in situ and AVHRR Polar Pathfinder-derived surface albedo over Greenland*. Remote Sensing of Environment. Accepted for publishing in August 2000.
- Søgaard, H. (1985). *Snow-mapping in Greenland based on multitemporal satellite data*. IAHS Publ. No. 145, s. 383-393.
- Søgaard, H., Nordstrøm, C. (1999). *Carbon dioxide exchange in a high-arctic fen estimated by eddy covariance measurements and modelling*. Global Change Biology, Vol. 5, s. 547-562.
- Søgaard, H., Thomsen, T. (1988). Application of satellite data to monitoring snow cover and Runoff in Greenland. Nordic Hydrology, No. 19, s. 225-236.
- Tamstorf, M.P., Hansen, B.U. (in press). *Vegetationskortlægning og Remote Sensing*. i Topografisk Atlas, Grønland.
- Tamstorf, M.P. (1997). *Analyse af sne- og vegetationsdækket ved Zackenberg, NØ-Grønland ved brug af Landsat TM og SPOT HRV images*. Geographica Hafniensia C4, 93 s.
- Tanré, D., Herman, M., Deschamps, P.Y., de Lefte, A. (1979). *Atmospheric modeling for space measurements of ground reflectances, including bidirectional properties*. Applied Optics, Vol. 18, No. 21, s. 3587-3594.
- Teillet, P.M., El Saleous, N., Hansen, M.C., Eidenshink, J.C., Justice, C.O., Townsend, J.R.G. (2000). *An evaluation of the global 1-km AVHRR land dataset*. International Journal of Remote Sensing, Vol. 21., No. 10, s. 1987-2021.
- Teillet, P.M., Guindon, B., Goodenough, D.G. (1982). *On the slope-aspect correction of Multispectral Scanner data*. Canadian Journal of Remote Sensing, Vol. 8 (2), s. 84-106.
- Thing, H. (1984). *Feeding ecology of the west Greenland caribou (Rangifer tarandus groenlandicus) in the Sisimiut-Kangerlussuaq region*. Danish review of game biology, Vol.12, No.3. 53 s.
- Thome, K. J., Gellman, D.I., Parada, R.J., Biggar, S.F., Slater, P.N., Moran, M.S. (1993). *In-flight radiometric calibration of Landsat 5 Thematic Mapper from 1984 to present*. Proc. SPIE Conf. #1938, Orlando, Florida, s. 126-131.
- Tucker, C.J., Sellers, P.J. (1986). *Satellite remote sensing of primary production*. International Journal of Remote Sensing, Vol. 7, No. 11, s. 1395-1416.
- Tuhkanen, S. (1980). *Climatic Parameters and Indices in Plant Geography*. Acta Phytogeographica Suecica 67, 110 s.
- Van Winkle, W. (1975). *Comparison of several probabilistic home-range models*. Journal of Wildlife Management, Vol. 39, s. 118-123.
- Verbyla, D.L., Hammond, T.O. (1995). *Conservative bias in classification accuracy assessment due to pixel-by-pixel comparison of classified images*

with reference grids. International Journal of Remote Sensing, Vol. 16, No. 3, s. 581-587.

Vermote, E., Tanré, D., Deuzé, J.L., Herman, M., Morcrette, J.J. (1997). *Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum (6S). User guide, Version 2*. NASA-Goddard Space Flight Center. Greenbelt. USA.

Vermote, E., Kaufman, Y.J. (1995). *Absolute calibration of AVHRR visible and near-infrared channels using ocean and cloud views*. International Journal of Remote Sensing, Vol. 16, No. 13, s. 2317-2340.

Vibe, C. (1967). *Arctic animals in relation to climatic fluctuations*. Meddelelser om Grønland 170, 5. 227 s.

Walker, M. (1995). *Community baseline measurements for ITEX studies. Additions to the ITEX Manual*. Dansk Polar Center, København. s. 3-8.

Walker, D.A. (1983). *A hierarchical tundra vegetation classification especially designed for mapping in Northern Alaska*. Proceedings of 4th International Conference on Permafrost.

Walker, D.A., Markon, C.J. (editors) (1996). *Circumpolar Arctic Vegetation Mapping Workshop*. Open-File Report – U.S. Geological Survey, OF 96-0251, 143 s.

Walker, D.A., Auerbach, N.A., Shippert, M.M. (1995). *NDVI, biomass, and landscape evolution of glaciated terrain in northern Alaska*. Polar Record 31(177), s. 169-178.

Walker, D.A., Halfpenny, J.C., Walker, M.D., Wessman, C.A. (1993). *Long-term studies of snow-vegetation interactions*. Bioscience, Vol. 43, No. 5. s. 287-301.

Walsh, J.E. (1991). *Arctic as a bellwether*. Nature 352. s.19-20.

Weng, W.L., Nielsen, A. (1997). *A long way to go: Modernising the topographic maps of Greenland*. Geoinformatics Info Magazine, Vol. 11, No. 5, s. 24-27.

White, M.A., Asner, G.P., Nemani, R.R., Privette, J.L., Running, S.W. (2000). *Measuring fractional cover and leaf area index in arid ecosystems: digital camera, radiation transmittance, and laser altimetry methods*. Remote Sensing of Environment, Vol. 74, s. 45-57.

Williams, M., Dowdeswell, J.A. (1988). *Mapping seabird nesting habitats in Franz Josef Land, Russian High Arctic, using Landsat Thematic Mapper imagery*. Polar Research 17 (1), s. 15-30.

Winther, J-G., Hall, D.K. (1999). *Satellite-derived snow coverage related to hydropower production in Norway: present and future*. International Journal of Remote Sensing, Vol. 20, No. 15 & 16, s. 2991-3008.

Winther, J-G. (1992). *Landsat Thematic Mapper (TM) derived reflectance from a mountainous watershed during the snow melt season*. Nordic Hydrology, Vol. 23, s. 273-290.

Worton, B.J. (1989). *Kernel methods for estimating the utilization distribution in home-range studies*. Ecology 70:164-168.

Wucelic, G. E., (1989). *Radiometric calibration of Landsat Thematic Mapper thermal band*. Remote Sensing of Environment 28:339-347.

Zar, J.H. (1999). *Biostatistical Analysis*. Prentice and Hall International, Inc. London.

Zhou, L., Tucker, C.J., Kaufmann, R.R., Slayback, D., Shabanov, N.V., Fung, I., Myneni, R.B. (submitted). *Variations in northern vegetation activity inferred from satellite data of vegetation index during 1981 to 1999*. Submitted (September 2000) to: Journal of Geophysical Research.

H Appendiks

I de efterfølgende kapitler vil appendiks være at finde. Henvisninger er foretaget fra teksten i hoveddelen af afhandlingen og hvert appendiks fremstår derfor med relativt kortfattet tekst.

Appendiks inkluderer: *Ordforklaring (H1)*, *Introduktion til vegetationskortlægning i Arktis og remote sensing (H2)*, *Områder og Navne (H3)*, *Klimadata (H4)*, *Anvendte billeder (H5)*, *Overfladetyper (H6)*, *Træningsområder (H7)*, *Typeanalyser (H8)*, *AVHRR Punktdata (H9)* og *Home ranges (H10)*

H.1 Ordforklaring

Følgende forkortelser er anvendt i projektet og forklaring er kun angivet første gang det anvendes. Produktnavne, som ikke umiddelbart har en logisk forkortelse er ikke forklaret (f.eks.: ATCOR, ENVI, CHIPS etc.).

6S:	Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum
AVHRR:	Advanced Very High Resolution Radiometer
AVIRIS:	Airborne Visible/Infrared Imaging Spectrometer
BRD:	Bidirectional Reflectance Distribution
CASPR:	The Cloud and Surface Parameter Retrieval System for Polar AVHRR
DEM:	Digital Elevation Model
DMU/AM:	Danmarks Miljøundersøgelser, Afd. for Arktisk Miljø
DN:	Digital Numbers
DTM:	Digital Terrain Model
FFT:	Fast Fourier Transform
GAC:	Global Area Coverage
GCP:	Ground Control Point
GEUS:	Danmark og Grønlands Geologiske Undersøgelse
GI:	Geografisk Institut
GN:	Grønlands Naturinstitut
GPS:	Global Positioning System
HRPT:	High Resolution Picture Transmission (AVHRR format)
HRV:	High-Resolution Visible
ISODATA:	Iterative, Self-Organizing Data Analysis Technique
ITEX:	International Tundra Experiment
KMS:	Kort og Matrikelstyrelsen
KU/GI:	Københavns Universitet, Geografisk Institut
LAI:	Leaf Area Index
LSCV:	Least squares cross validation
LUT:	Look-up table
MaxNDVI:	Maksimalt forekommende NDVI for en sæson
MNF:	Minimum noise Fraction
MSR:	Multi Spectral Radiometer
NDVI:	Normalized Difference Vegetation Index
NERC:	National Environment Research Council
NESDIS:	National Environmental Satellite, Data, and Information Service
NIR:	Nærinfrarød (typisk om placering af spektrere)
NOAA:	National Oceanic and Atmospheric Administration
NSIDC:	National Snow and Ice Data Center
P:	Overordnet usikkerhed
PVI:	Perpendicular Vegetation Index
RED:	Rød (typisk om placeringen af spektrere)
RMS:	Root Mean Square
RVI:	Ratio Vegetation Index
SAM:	Spectral Angle Mapper
SAVI:	Soil Adjusted Vegetation Index
SPOT:	Système Probatoire d'Observation de la Terre
SWIM:	Short Wave Irradiance Model
:::	Tau (usikkerhedsvurdering)
TM:	Thematic Mapper

TOA: Top Of Atmosphere
UD: Utilization distribution
UTM: Universal Transverse Mercator

H.2 Introduktion til vegetationskortlægning i Arktis og remote sensing

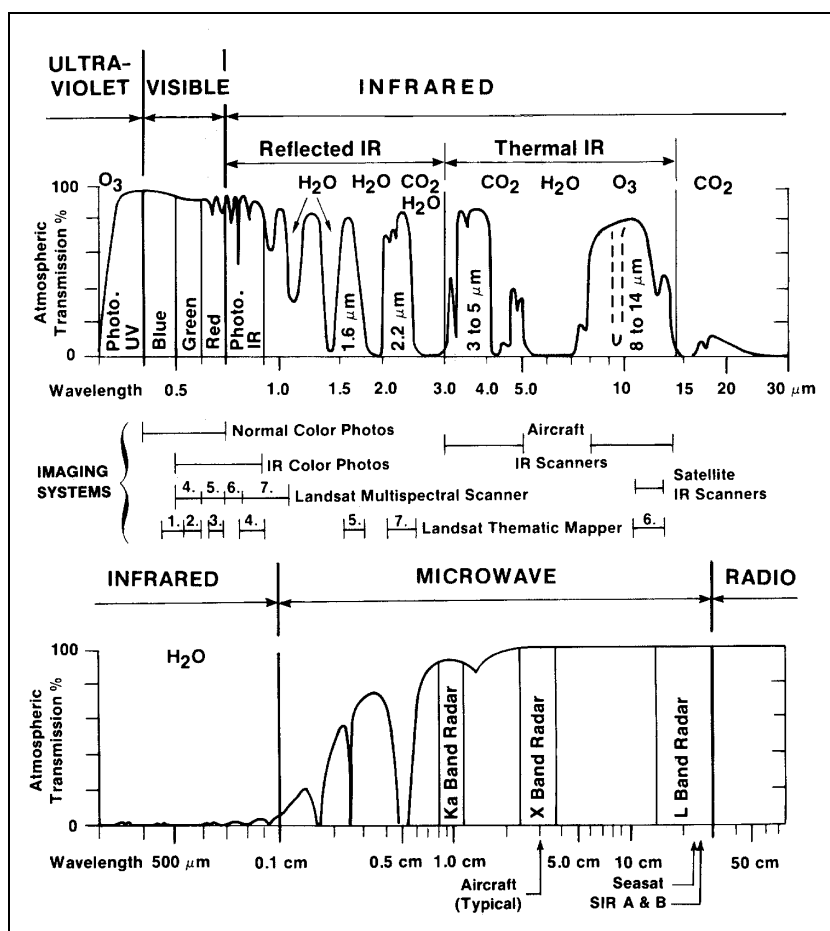
Det følgende kapitel har til hensigt at give en introduktion til remote sensing med hovedvægten lagt på anvendelse af høj-opløselige satellitter og de forhold som specielt gør sig gældende i Arktis. Teorien er primært baseret på Jensen (1996) og Mather (1987), men også en del referencer til tidsskriftartikler er inkluderet som introduktion men primært anvendt senere i gennemgangen af teori og metode i sektion C. Læsere med en solid baggrund indenfor remote sensing kan således springe dette kapitel over og gå direkte til kapitel B.2 på side 12.

Definition

Ved remote sensing forstås bredt: indsamling og behandling af information om en genstand uden at være i fysisk kontakt med denne (Sabins, 1986). For dette projekt gælder således indsamling af refleksionsmålinger fra en satellit for overfladetyperne i Vestgrønland. Refleksionsmålingerne foretages, idet forskellige vegetationstyper har karakteristiske og identificerbare refleksionsmønstre, som kan anvendes til en klassifikation af overfladevegetationen.

H.2.1 Stråling

Satellitter kan i dag måle intensitet af stråling i store dele af det elektromagnetiske spektre (Figur H.1)



Figur H.1 Det elektromagnetiske spektrum med typiske benævnelser. Kurven viser atmosfærisk transmission og eksempler på placering af spektrale bånd for udvalgte sensorer (Sabins, 1986).

På figuren er det elektromagnetiske spektrum vist med angivelse af udvalgte satellitsensorers dækning. Endvidere viser figuren den atmosfæriske transmission (gennemstråling) ved de forskellige bølgelængder, der er et udtryk for hvor stor en del af den pågældende stråling, som atmosfæren absorberer (optager) eller reflekterer.

I dette projekt er primært anvendt Landsat Thematic Mapper (TM) og NOAA AVHRR satellitterne. De spektrale bånd for Landsat TM er vist på Figur H.1 under de synlige og infrarøde spektre. De seks første bølgelængdebånd, hvor Landsat TM måler refleksion af solstråling, ligger indenfor det synlige og infrarøde spektrum. Det sidste bånd er placeret i det termalinfrarøde spektrum, hvor solen ikke emitterer (udstråler) stråling. I dette spektrum er det derfor udelukkende jordens emission af stråling, som kan måles og omregnes til overfladetemperatur. NOAA AVHRR har to bånd i det synlige og nærinfrarøde spektra og 3 i det termale spektra.

Aktive sensorer

I længere bølgelængder (mikro- og radiobølger) emitterer hverken solen eller jorden nævneværdig stråling, og ved disse bølgelængder anvendes normalt såkaldte aktive sensorer i modsætning til passive sensorer, der måler refleksion og emission af sol/jordstråling. Disse aktive sensorer udsender et signal i den pågældende bølgelængde og måler derefter den tilbage-reflekterede stråling. I dette projekt anvendes dog kun passive sensorer og de aktive vil derfor ikke blive diskuteret nærmere.

Solstråling

De primære bølgelængdebånd, som anvendes til vegetationskortlægning måler refleksion af stråling i det solare spektrum. Solen udsender elektromagnetisk stråling i bølgelængder, som er betinget af solens temperatur. Placeringen af den maksimale udstråling fra et legeme med en given temperatur er defineret ved *Wien's displacement law*:

$$\lambda_m = \frac{c_1}{T} \quad \mathbf{F\ 17}$$

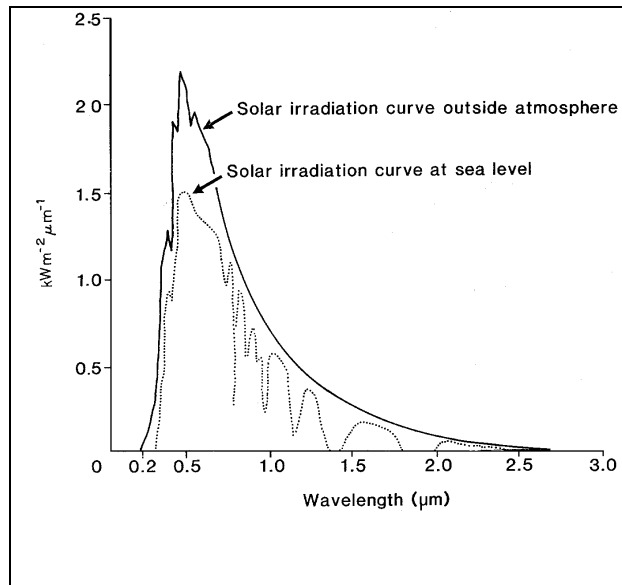
hvor λ_m er bølgelængden ved den maksimale temperatur, c_1 er en konstant ($2.898 \cdot 10^{-3}$ mK) og T er temperaturen af legemet i grader Kelvin.

Det synlige lys er kun en lille del af den stråling (energi), som solen udsender. I Figur H.2 er vist solens indstråling ved atmosfærens yderkant og et eksempel ved jordoverfladen.

Den lavere indstråling ved jordoverfladen end ved atmosfærens yderkant forårsages af refleksion, absorption og spredning grundet gasser, støv og andre partikler i atmosfæren. Atmosfærens indflydelse varierer kraftigt med breddegrad, overfladetype og vejrforhold hvilket er beskrevet nærmere i afsnittet om atmosfærekorrektion (Afsnit C.4.1.4).

Den stråling som mennesket kan opfatte, det synlige lys, ligger fra 0.4Tm-0.7Tm og dækker altså, spektralt, kun en lille del af den samlede solare indstråling (det solare spektrum). Energimæssigt er intensiteten af strålingen i det synlige lys så stor, at det udgør omkring 50% af den samlede solare energitilførsel til jorden. Satellitter kan i dag bygges med sensorer, der kan måle refleksion i flere bølgelængder end det synlige spektrum, som mennesket jo er begrænset til, og kan således skaffe yderligere information om

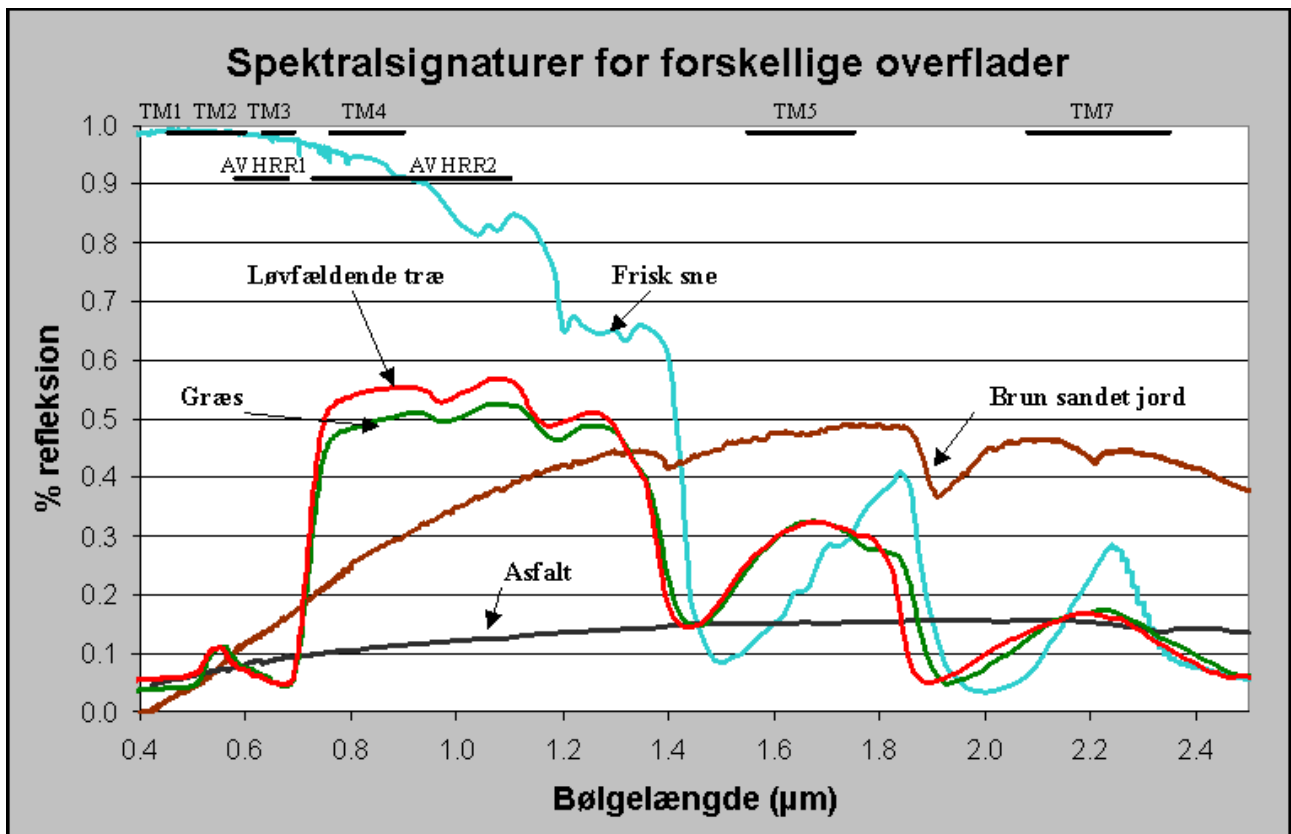
overfladetyper. Således har refleksion af bølglængder omkring 1.5 μm vist at give information omkring vandindhold i planterne (Hunt og Rock, 1989)



Figur H.2 Solar indstråling ved atmosfærens yderkant og eksempel fra jordoverfladen (Mather, 1987).

Spektralsignaturer

Ved at kombinere målinger af refleksion fra en given overflade i flere bølglængder fås en såkaldt spektralsignatur. Alle overflader er karakteriseret ved deres egen spektrale signatur, som kan sammenlignes med et fingeraftryk. Jo flere bølglængder man måler i, jo bedre bliver overfladen beskrevet. I Figur H.3 vises eksempler på spektralsignaturer for forskellige naturlige overflader.



Figur H.3 Spektralsignaturer for naturligt forekommende overflader, henholdsvis græs, løvtræer, jord, asfalt og frisk sne (John Hopkins University Spectral Library, ENVI 3.1) samt placering af spektralbånd for Landsat TM og NOAA AVHRR.

Vegetation fremstår med et meget typisk spring i refleksionen mellem 0.7 og 0.8 Tm. Dette spring skyldes, at vegetationens indhold af klorofyl absorberer kraftigt i det røde spektrum (0.6-0.7 Tm), hvorimod cellestrukturen i bladene bevirker en kraftig refleksion af stråling i det nærinfrarøde spektrum over cirka 0.75 Tm. Jo mere klorofyl og jo kraftigere en opbygning af cellestrukturen, desto større bliver springet i refleksionen.

Også andre dele af spektret indeholder specifik information om vegetationen. De spektra, som udgøres af de seks første bølgelængdebånd i Landsat TM satellitten, giver således information om blandt andet følgende overfladeparametre (Jensen, 1996):

- TM1 (0.45Tm-0.52Tm): Lichener har en karakteristisk høj refleksion i dette spektra. Gennemtrængning af øverste vandlag i søer og have kan give information om f.eks. plankton.
- TM2 (0.52Tm-0.60Tm): Tilsvarende refleksionen af grønt lys fra vegetationen og giver dermed information om grønheden af vegetationen.
- TM3 (0.63Tm-0.69Tm): Kraftig absorption betinget af klorofylindhold dominerer i dette spektra.
- TM4 (0.76Tm-0.90Tm): Cellestrukturen i vegetation medfører kraftig refleksion fra frodig vegetation. Kan relateres til bladarealindeks, biomasse og lign.
- TM5 (1.55Tm-1.75Tm): Sensitiv overfor vandindhold, blandt andet i vegetation. Kan anvendes til adskillelse af sne og skyer.
- TM7 (2.08Tm-2.35Tm): For vegetationsstudier meget lig TM5 om end lavere refleksion. Anvendes derudover til geologiske forskelle i klippeformationer.

Informationen fra spektralbånd 1 og 2 i NOAA AVHRR tilsvarende stort set TM3 og TM4. De termale kanaler i både Landsat TM og NOAA AVHRR indeholder information om overfladetemperaturer, men da dette kun i begrænset omfang bliver anvendt i Sektion D, er der set bort fra disse bånd i det følgende.

H.2.2 Satellitbestemte parametre

Ved 'remote sensing' baseret på satellitter er følgende parametre væsentlige for anvendelsesmulighederne af data:

- Spatial opløsning (pixel størrelse)
- *Swath-width* (størrelse af område, der måles på)
- Temporal opløsning (og nedtagestationer)
- Spektral opløsning (bredden af bølgelængdebånd)
- Radiometrisk opløsning
- Generel dækning

Spatial opløsning

Spatial opløsning beskriver den størrelse, som den mindste enhed (pixel) i satellitbilledet har. Som eksempel har Landsat TM en spatial opløsning i de

første 6 bånd på 30*30 m og AVHRR en opløsning på 1000 * 1000 m. Overflader med mindre udstrækning kan derfor ikke umiddelbart erkendes i billedet. I stedet indgår de sammen med de omkringliggende overflader i en gennemsnitsværdi for refleksionen af disse overflader. Enkelte plantetyper kan, på trods af den relativt høje rumlige opløsning, derfor ikke erkendes i Landsat TM, men indgår i stedet i vegetationstyper, som nemmere kan adskilles på grund af deres større udstrækning.

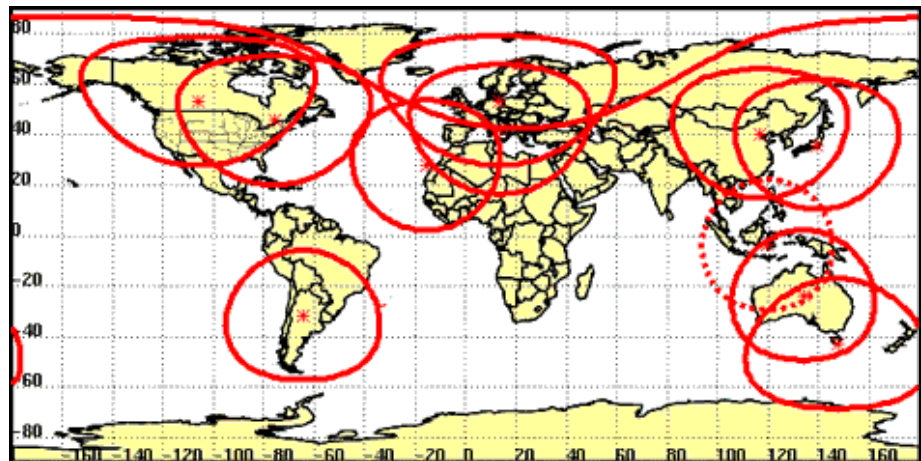
Swath width

Swath-width af sensoren er bredden af den stribe overflade på jorden som satellitten måler refleksion fra. Den spatiale opløsning er direkte afhængig af bredden af striben, idet en mindre pixelstørrelse fordrer en lavere flyvehøjde og derfor giver en smallere *swath-width*. Hvis *swath-width* er for bred, vil pixelstørrelsen i yderkanten af billedet blive alt for stor med deraf følgende problemer for geometrisk opretning. Tillige afhænger det af instrumentets opløsning. Landsat TM har med en pixelstørrelse på 30*30 m en *swath-width* på 185 km., hvorimod NOAA AVHRR med den 1000*1000 m. rumlige opløsning har en *swath-width* på 2700 km.

Temporal opløsning

Den temporale opløsning er afhængig først og fremmest af baneparametrene for satellitten og derved også af *swath-width*. Jo større *swath-width*, des tiere bliver samme område målt og dermed stiger den temporale opløsning. Hvor Landsat TM overflyver et bånd på 185 km hver 16. dag, måler NOAA AVHRR sensoren i et bånd på 2700 km og giver flere daglige dækninger af samme område. Til gengæld er den spatiale opløsning lavere og pixelstørrelsen således som nævnt, 1*1 km med stigende pixelstørrelsen mod kanterne på grund af jordens krumning.

Endvidere, har antallet og dækning af nedtagestationer indflydelse på hvor tit billeder kan skaffes fra et område. Landsat har for eksempel kun 10 nedtagestationer (Figur H.4).



Figur H.4 Nedtagestationer for Landsat TM billeder. Røde cirkler angiver det område, hvorfra hver af stationerne kan nedtage billeder direkte (USGS Landsat homepage).

NOAA AVHRR kan derimod nedtages mange steder over hele kloden idet nedtagestationer for disse er relativt billige og data dermed i princippet gratis. Asiaq i Nuuk har således mulighed for at nedtage billeder fra Grønland.

For at kunne optage billeder i områder, hvor der ikke er dækning fra nedtagestationer, kan satellitterne programmeres til at optage og lagre data i en båndoptager om bord i satellitten. Når satellitten derefter kommer indenfor rækkevidde af en nedtagestation, kan data nedtages og anvendes. Dette med-

fører dog, at satellitten skal programmeres til at optage disse områder og dette gøres i mange tilfælde kun, hvis der er en kendt efterspørgsel efter data fra det givne område.

Spektral opløsning

Den spektrale opløsning er udtryk for hvor smalle bølgelængdebånd der måles over. Jo smallere bånd, des mere præcis information omkring den spektrale signatur. Placeringen af båndene er også væsentlig. For vegetation er det således vigtigt at have et bånd i det røde og et i det nær-infrarøde, og dermed gøre det muligt at skelne for eksempel imellem kraftig og sparsom vegetation. En kombination af mange smalle bånd giver et mere præcist billede af overfladens spektralsignatur. Landsat TM har 7 bånd og tilhører de multi-spektrale sensorer, mens fremtidige sensorer går mod det hyper-spektrale (mere end 50 bånd), hvor antallet af bånd stiger og bredden af de enkelte bånd falder. Ingen af disse hyper-spektrale sensorer er dog endnu opsendt på satellitter, men anvendes i dag fra fly.

Radiometrisk opløsning

Radiometrisk opløsning dækker over graden af opløsning af information om den reflekterede stråling for hver pixel. De gængse multi-spektrale højopløselige satellitter, som Landsat TM og SPOT HRV, anvender en 8-bit opløsning, som giver heltalsværdier for hver pixel imellem 0 og 255. NOAA AVHRR anvender 10-bit og dermed værdier imellem 0 og 1024 med dertil svarende højere opløsning af informationen.

Generel dækning

Opsætningen af satellitterne i polar bane medfører at hele kloden ikke kan overflyves. Således kan Landsat TM samt NOAA AVHRR, som begge har en inklination i forhold til ækvator på 98.1° , ikke nedtage billeder fra positioner over 81.9° bredde. Til gengæld ligger banerne med så stort overlap ved polerne at samme område kan måles under flere fortløbende baner. Landsat TM har cirka 85% overlap ved 81° bredde, mens den kun har cirka 14% overlap ved ækvator (Jensen, 2000).

Et af problemerne med de ovennævnte parametre er, at en optimering af dem alle (mindre pixels, bredere *swath-width*, flere bånd og højere radiometrisk opløsning) vil modarbejde hinanden. Idet sensoren skal have et minimum af elektromagnetisk stråling for at registrere et signal, er der en naturlig begrænsning i opløsningen. Smallere spektrale bånd vil således mindske den indkommende energi og kræve at den rumlige opløsning mindskes så der modtages energi fra et større areal. Modsat kan mængden af information også sættes op ved at anvende bredere bånd (f.eks. AVHRR bølgelængdebånd 2), og derved opnå mulighed for større rumlig opløsning. Bredden af båndene afhænger således af den tilgængelige energi, og fra Figur H.2 kan det ses hvordan mængden af energi fra solen falder i det infrarøde spektrum. I disse spektra kræves derfor bredere bånd for at opnå samme energimængde, som smalle bånd modtager i det synlige spektra.

En optimering af alle parametrene vil ydermere medføre en kraftig stigning i mængden af data, som skal hentes ned og behandles. Da computernes hastighed i dag stadig er en begrænsning, kræves derfor et kompromis mellem anvendelse af data og gennemførlighed af processing.

H.2.3 Satellitter til brug for vegetationskortlægning i Arktis

I det foregående er der nævnt flere forskellige satellitsensorer. Til vegetationskortlægning er der udelukkende anvendt Landsat TM idet denne sensor i øjeblikket er den bedste løsning til denne opgave (Jvf. diskussion nedenfor). I Tabel H.1 er der vist en oversigt over dels de nuværende satellitsensorer,

som kan anvendes til vegetationskortlægning og dels nogle fremtidige, der vil kunne være af interesse for lignende projekter.

For vegetationskortlægning er satellitsensorer, som måler reflektion af kortbølget stråling (sollys), normalt foretrukket på grund af de tidligere omtalte karakteristiske refleksionsmønstre for vegetation i disse bølgelængder. Alle viste sensorer måler derfor i det kortbølgede spektra (0.4 Tm – 3 Tm), men enkelte også i det termale spektra (3 Tm – 15 Tm).

Table H.1 Oversigt over satellitsensorer, som er relevante for arktisk vegetationskortlægning

Sensor	Antal bånd	Spektral dækning*	Spatial opløsning	Swath width	Temporal opløsning	Radiom. opløsning	Pris/km ²	Periode*
Landsat 5 TM	7	0.45Tm-12.5Tm	30m-120m	186km	16 dage	8 bit	1 kr.	1982-1984
Landsat 7 ETM+	7	0.45Tm-12.5Tm	30m-60m	186km	16 dage	8 bit	10 øre	1984-
SPOT	4	0.5Tm-1.75Tm	20m	60km	26 dage	8 bit	5 kr.	1986-
NOAA AVHRR	6	0.58Tm-12.5Tm	1.1km	2600km	Dagligt	10 bit	0.008 øre	1978-
Ikonos	4	0.45Tm-0.88Tm	4m	11km	< 3 dage	11 bit	250 kr.	1999-
SAC-C (MMRS)	5	0.48Tm-1.7Tm	175m	360km	9 dage	8 bit	Ukendt	2000-2004
Terra (ASTER)	15	0.52Tm-11.65Tm	15m-90m	60km	16 dage	8-12 bits	Ukendt	1999-
ENVISAT (MERIS)	15	0.39Tm-10.40Tm	300m	1150km	35 dage	Ikke oplyst	Ukendt	2001-
OrbView-4	200	0.45Tm-2.5Tm	8	5km	3 dage	Ikke oplyst	Ukendt	2001-2006

* Det viste interval er ikke fuldt dækket men inddelt i bånd som angivet i kolonne 2.

* Nogle satellittyper har bestået af flere satellitter. F.eks er det 4. generation af SPOT som leverer billeder i dag selv om flere af de gamle stadig fungerer.

NOAA AVHRR

Under de nuværende sensorer adskiller NOAA AVHRR sig fra de andre ved en væsentligt lavere spatial opløsning. Derfor er denne satellit, om end prisbillig, ikke velegnet til kortlægning af vegetationstyper, som det er ønsket for vegetationskortlægningen i denne afhandling. Derimod er NOAA AVHRR med sin høje temporale opløsning, særdeles velegnet til at modellere snesmeltning og vækstsæson og er valgt til den retrospektive analyse af sne- og vegetationsdækket i Vestgrønland.

Landsat og SPOT

Landsat 5 TM, -7 ETM+ og SPOT er mere velegnet til kortlægning af vegetationstyper. Både Landsat og SPOT har været opsendt i en længere periode, så data er tilgængelige tilbage til 1986. Endvidere har begge en spatial opløsning i de synlige og nærinfrarøde bånd på 20 m – 30 m, hvilket giver mulighed for klassifikation af de arktiske vegetationstyper. Landsat 4 og -5 TM og -7 ETM+ har en fordel, dels i et ekstra bånd i det infrarøde spektra, og dels i en større dækning grundet en *swath-width* på 186 km, i modsætning til SPOT, som har en *swath-width* på 60 km. Prismæssigt er Landsat også at foretrække, specielt efter at Landsat 7 ETM+ er opsendt og prissat til cirka \$600 for en scene. Landsat 7 ETM+ var dog først klar til kommerciel udnyttelse i sommeren 1999, og det har derfor ikke været muligt at anvende den i dette projekt.

Ikonos

Ikonos er den første kommercielle satellit, som giver en spatial opløsning på 4 m i de synlige og nærinfrarøde spektre. Satellitten blev klar til kommerciel udnyttelse i foråret 2000 og kan med sin høje opløsning give uvurderlige oplysninger ved detailkortlægning af arktisk vegetation. Prisen på cirka 250

kr. per km² er dog normalt en hindring for anvendelse af disse data til kortlægning i større skala.

SAC-C

SAC-C er en argentinsk satellit, som forventes opsendt i november 2000. Sensoren (MMRS) har spektral dækning som ligner AVHRR og Landsat TM, men en spatial opløsning imellem disse. SAC-C vil derfor primært henvende sig til regionale studier samt overordnede betragtninger idet mere detaljerede analyser kræver en højere spatial opløsning.

ASTER og MERIS

De to sensorer ASTER og MERIS er første generation af en række kommende sensorer, som vil gå mod hyperspektral dækning. Dermed menes et højere antal spektrale kanaler og dermed mere detaljeret beskrivelse af spektralsignaturerne for overfladetyperne, end det i dag er muligt at opnå med multispektrale sensorer. Priser på data for disse sensorer er endnu ikke kendt. Det større antal kanaler vil gøre det lettere at adskille vegetationstyper fra hinanden, men MERIS er med sin lavere spatiale opløsning mest velegnet til regional studier. Den temporale opløsning på 35 dage er dog så lav, at der ikke kan forventes at få mange skyfrie data fra de arktiske regioner.

OrbView-4

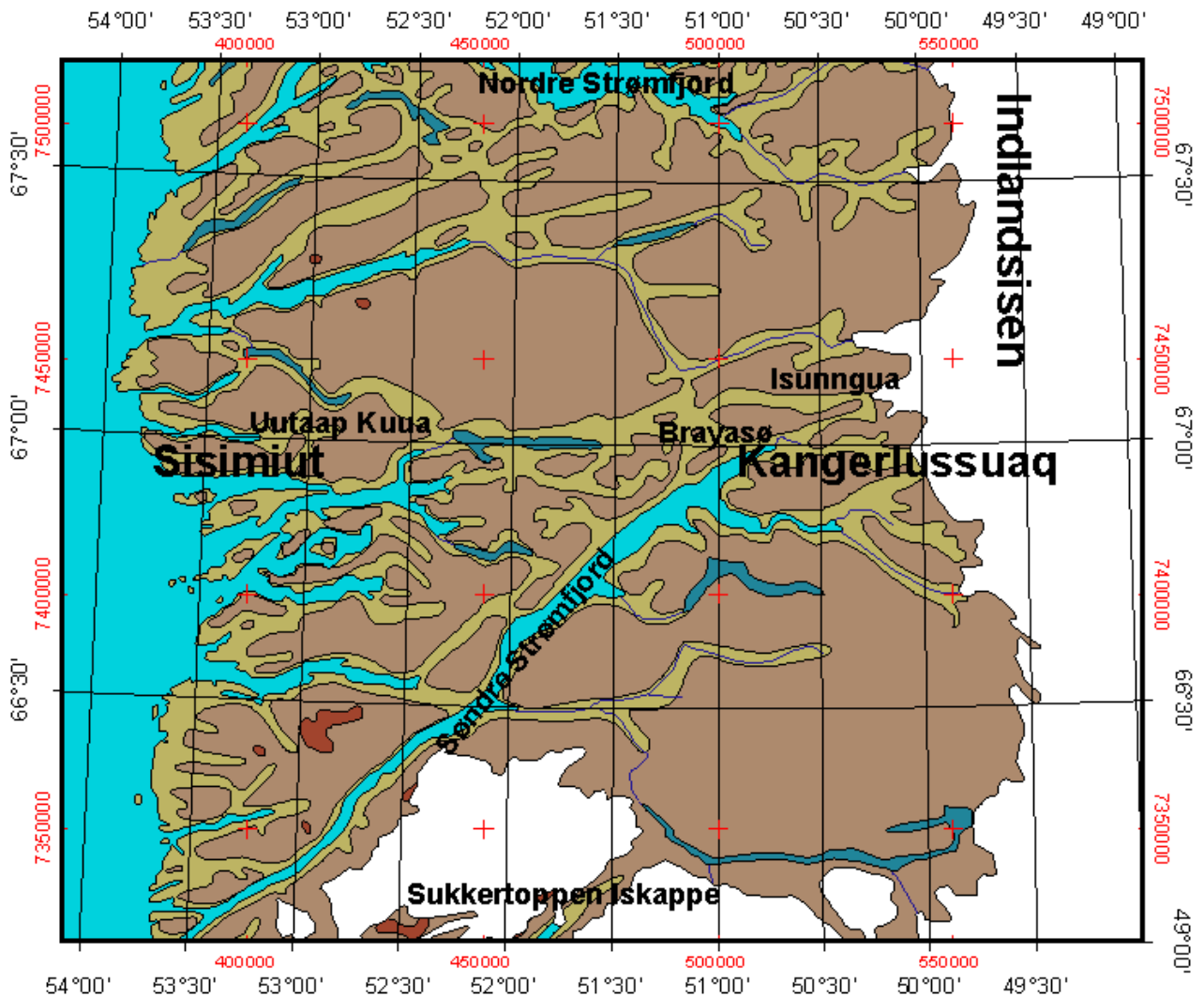
OrbView-4 vil (hvis opsendelsestidspunktet holder) blive den første satellit-baserede hyperspektrale sensor og tilmed med en spatial opløsning som er bedre end Landsat og SPOT. Den temporale opløsning vil endvidere muliggøre relativt hyppige optagelser af områder i Arktis. Eftersom OrbView er en kommerciel satellit kan prisen forventes at blive relativt høj (i stil med Ikonos billederne).

På baggrund af ovenstående vurderinger samt tilgængelige skyfrie data fra hovedområderne er det valgt at anvende Landsat 5 TM data til vegetationskortlægningen og NOAA AVHRR til den retrospektive analyse af sne- og vegetationsdækket. I afsnit C.2.1 og D.2 vil henholdsvis Landsat 5 TM og NOAA AVHRR blive beskrevet nærmere.

H.3 Områder og navne

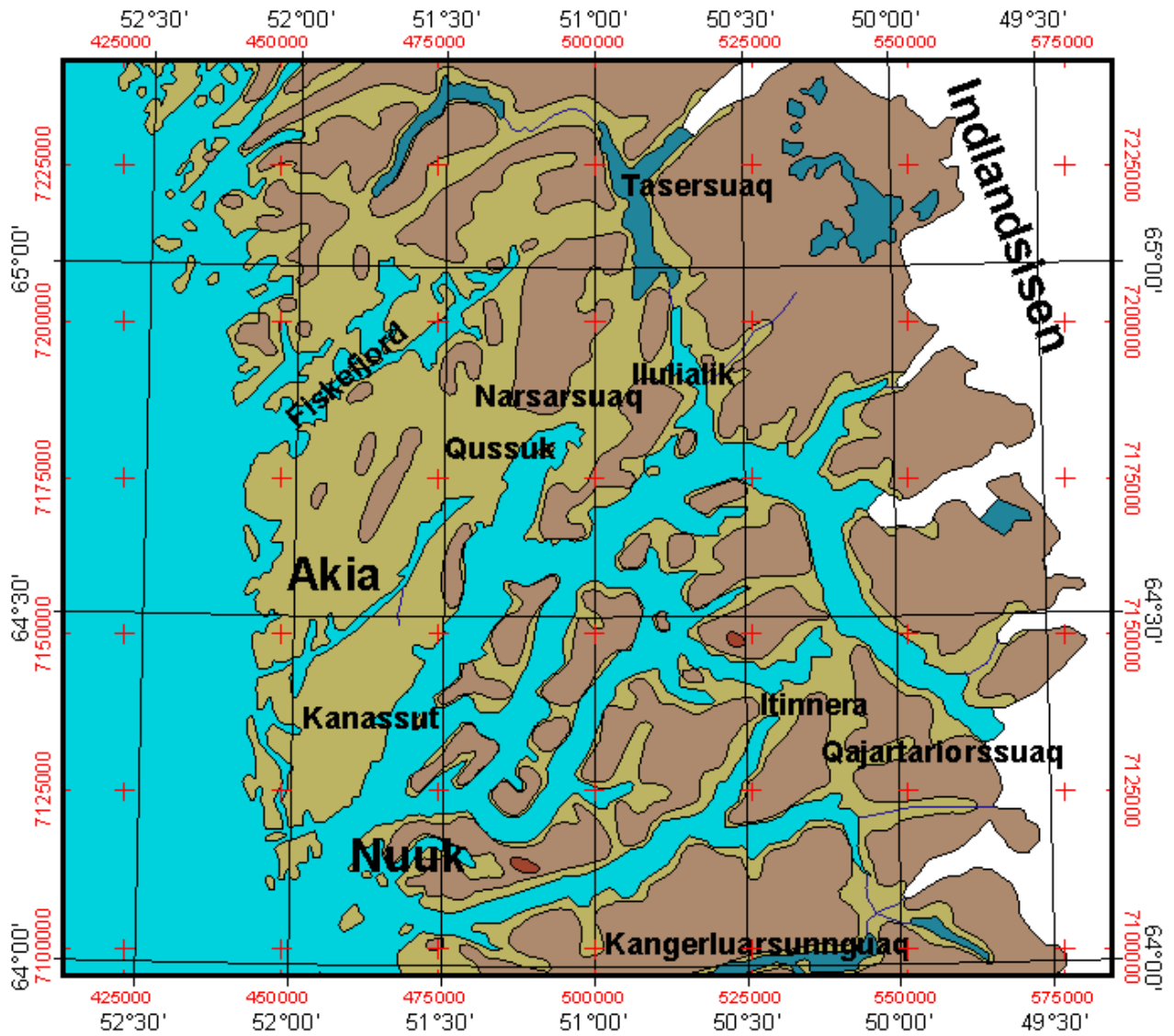
I dette appendiks vises figurer med kort over de tre hovedområder med en placering af de vigtigste feltlokaliteter.

H.3.1 Kangerlussuaq



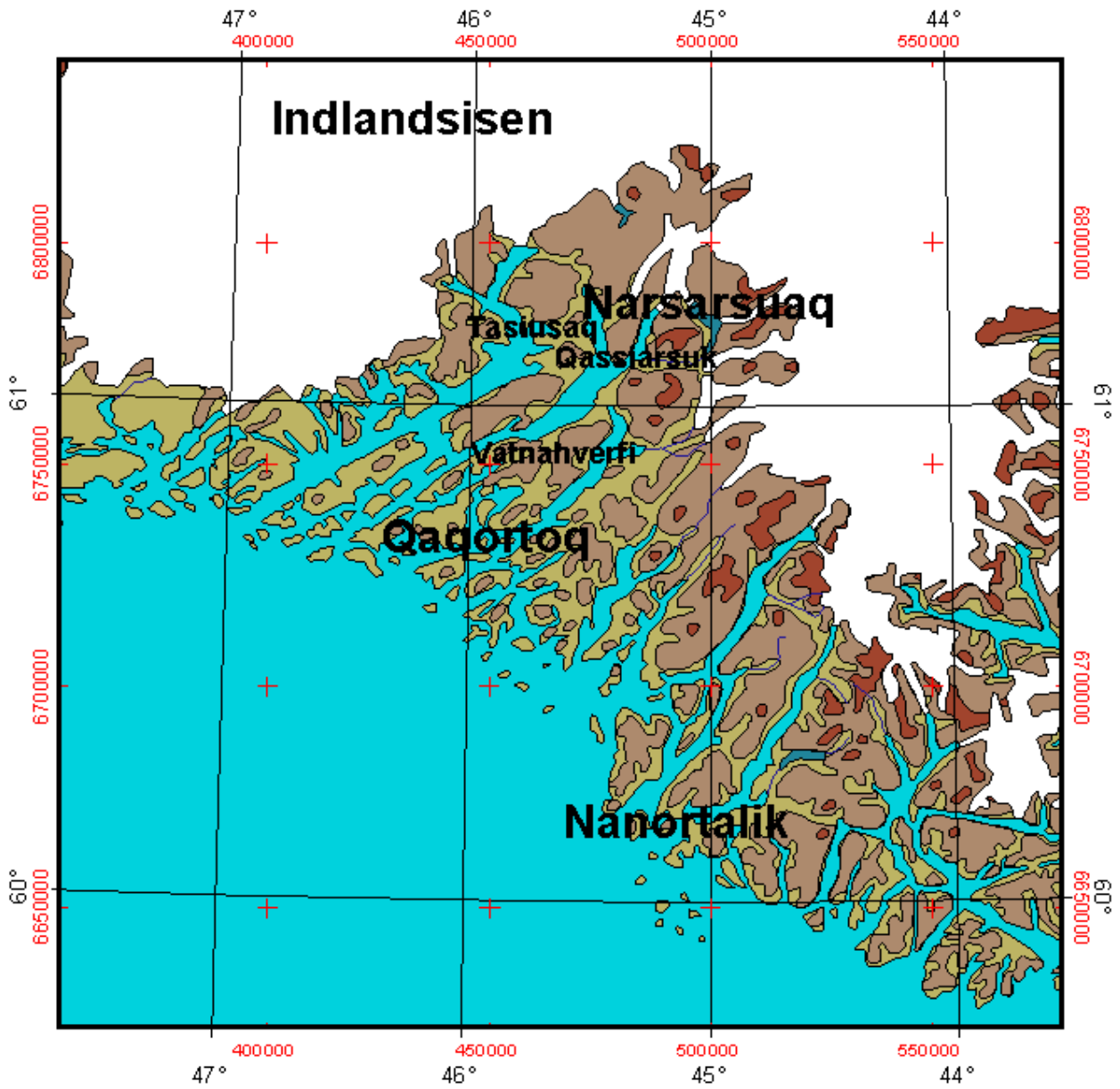
Figur H.5 Kort med angivelse af vigtigste navne i det nordlige hovedområde ved Kangerlussuaq.

H.3.2 Nuuk



Figur H.6 Kort over det midterste hovedområde ved Nuuk med angivelse af vigtige stednavne

H.3.3 Sydgrønland



Figur H.7 Kort over Sydgrønland med angivelse af vigtige stednavne.

H.4 Klimadata

Følgende appendiks indeholder udvalgte klimadata fra 6 stationer på Grønlands Vestkyst. Stationerne er udvalgt, så de beskriver kyst og indlandsklimaet i de tre hovedområder. For nærmere diskussion om klimaet på Grønlands Vestkyst og i hovedområderne henvises til klimaafsnittet i rapporten.

Tabel H.2 Udvalgte klimastationer på Grønlands vestkyst

Lokalitet	Bredde/længde	Periode
Sisimiut ¹	66+55'N, 53+40'V	1961-1990
Kangerlussuaq ¹	67+00'N, 50+48'V	1974-1990
Nuuk ¹	64+10'N, 51+45'V	1961-1990
Kapisillit ²	64+20'N, 50+15'V	1939-1956
Qaqortoq ¹	60+43'N, 46+03'V	1961-1990
Narsarsuaq ¹	61+11'N, 45+25'V	1961-1990

¹: Data fra Danmarks Meteorologiske Institut

²: Data fra Putnins 1970. Kun temperatur og nedbørsdata. Nedbørsdata er højst sandsynligt ikke nedbørskorrigeret

H.4.1 Temperatur

Tabel H.3 Månedlige middel månedstemperaturer i °C

Lokalitet	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	Maj.	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Dec.	År
Sisimiut	-12.8	-13.9	-14.0	-7.2	-0.3	3.6	6.3	6.1	3.3	-1.8	-5.9	-10.0	-3.8
Kangerlussuaq	-19.7	-21.0	-17.5	-8.4	2.3	8.4	10.7	8.5	3.1	-6.0	-12.0	-16.9	-5.6
Nuuk	-7.4	-7.8	-8.0	-3.9	0.6	3.9	6.5	6.1	3.5	-0.6	-3.6	-6.2	-1.4
Kapisillit	-9.6	-9.9	-7.1	-3.4	4.3	9.4	10.9	8.7	3.8	-1.7	-5.7	-7.6	-0.7
Qaqortoq	-5.5	-5.0	-4.4	-0.6	3.3	5.2	7.1	7.2	5.0	1.2	-1.9	-4.4	0.6
Narsarsuaq	-6.8	-6.1	-5.2	-0.2	5.2	8.4	10.2	9.3	5.5	0.4	-3.2	-6.1	1.0

Tabel H.4 Månedlige middel minimumstemperaturer i °C

Lokalitet	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	Maj.	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Dec.	År
Sisimiut	-16.2	-17.5	-17.6	-10.6	-3	1	3.6	3.5	1	-4.1	-8.6	-13.2	-6.7
Kangerlussuaq	-24.4	-25.6	-22.1	-12.9	-1.7	3.9	5.7	4	-0.5	-9.4	-16.3	-21.8	-10
Nuuk	-10.1	-10.6	-10.6	-6.1	-1.5	1.3	3.8	3.8	1.6	-2.5	-5.8	-8.7	-3.7
Kapisillit	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Qaqortoq	-9	-8.4	-7.9	-4	0	1.7	3.7	4.1	2.2	-1.4	-4.8	-7.7	-2.6
Narsarsuaq	-11.1	-10.2	-9	-3.9	1.7	4.9	6.8	5.9	2.4	-2.5	-6.8	-10.1	-2.6

Tabel H.5 Månedlige middel maksimumstemperaturer i °C

Lokalitet	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	Maj.	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Dec.	År
Sisimiut	-8.9	-9.6	-9.6	-3	3.5	7.6	10.5	9.8	6.3	1	-2.9	-6.5	-0.1
Kangerlussuaq	-14.7	-15.5	-11.2	-2.5	7.9	14	16.5	14.2	7.9	-1.5	-7.5	-12.1	-0.3
Nuuk	-4.4	-4.5	-4.8	-0.8	3.5	7.7	10.6	9.9	6.3	1.7	-1	-3.3	1.8
Kapisillit	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Qaqortoq	-2	-1.3	-0.5	3.2	7.5	9.8	11.7	11.6	8.5	4.2	1.1	-1.2	4.4
Narsarsuaq	-2.4	-1.6	-0.5	4.2	9.6	13.1	14.9	13.9	9.7	4.3	0.8	-2	5.4

H.4.2 Nedbør

Tabel H.6 Månedlig middelnedbør i mm.

Lokalitet	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	Maj	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Dec.	År
Sisimiut	19	18	24	29	19	29	44	51	51	38	39	22	383
Kangerlus-suaq	6	4	4	7	7	13	22	28	18	13	12	6	140
Nuuk	39	47	50	46	55	62	82	89	88	70	74	54	756
Kapisillit	10	10	8	12	14	20	37	41	39	30	16	18	255
Qaqortoq	56	52	58	56	56	75	95	93	90	74	79	74	858
Narsarsuaq	37	33	38	40	38	52	63	71	67	54	60	62	615

H.4.3 Vindhastighed

Tabel H.7 Månedlig middel vindhastighed i m/s.

Lokalitet	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	Maj	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Dec.	År
Sisimiut	2.9	2.8	2.6	2.6	2.7	2.8	2.5	2.6	2.8	2.7	3.5	3.4	2.8
Kangerlus-suaq	3.3	3.0	2.7	2.9	3.7	4.1	4.0	3.8	3.2	3.2	3.5	3.6	3.4
Nuuk	6.8	6.9	6.9	6.4	5.2	4.9	5.0	5.1	5.4	5.6	6.6	7.0	6.0
Kapisillit	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Qaqortoq	5.4	5.5	4.6	3.7	3.4	2.9	2.4	2.6	3.1	3.4	4.4	5.0	3.8
Narsarsuaq	4.8	5.1	3.8	3.7	3.9	3.7	3.1	3.1	3.0	3.1	3.8	4.3	3.8

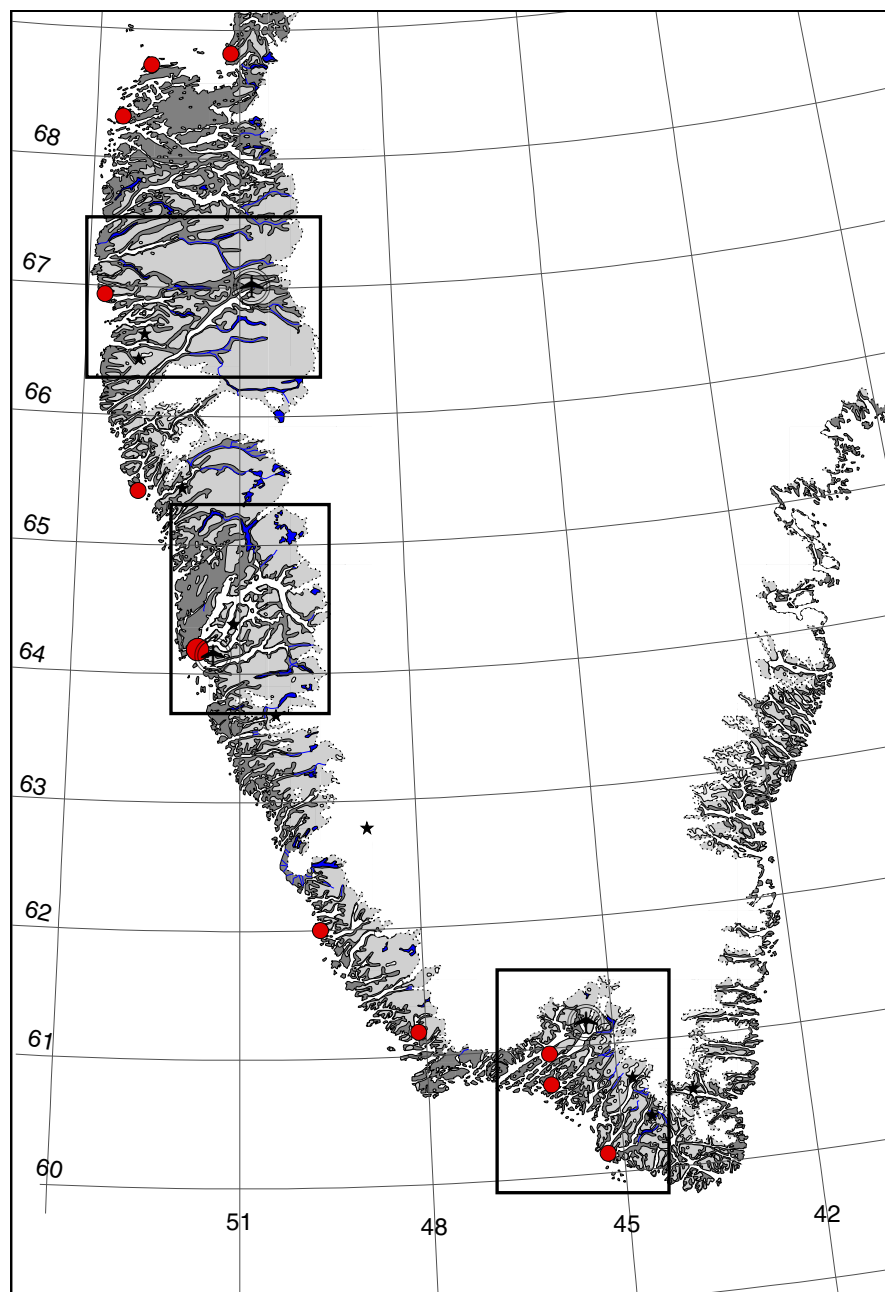
H.4.4 Skydække

Tabel H.8 Månedligt middel skydække i %

Lokalitet	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	Maj	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Dec.	År
Sisimiut	59.1	57.6	55.6	58.6	65.9	67.7	68.7	68.6	69.9	66.9	66.7	62.5	64.0
Kangerlus-suaq	54.8	46.8	53.1	55.8	59.5	58.3	58.7	60.7	63.3	61.1	60.4	55.2	57.4
Nuuk	70.7	69.6	67.6	67.1	75.1	72.6	75.1	74.2	70.9	63.9	64.5	66.2	69.8
Kapisillit	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Qaqortoq	62.9	59.3	57.9	61.5	69.0	73.1	74.7	71.6	67.2	59.7	61.1	61.5	65.0
Narsarsuaq	62.2	59.1	59.0	61.3	67.7	69.1	70.2	65.9	65.0	59.0	59.8	60.5	63.2

H.5 Anvendte billeder

På de følgende sider er alle Landsat og SPOT satellitbilleder som er anvendt i RenVeg projektet blevet beskrevet. Billederne koncentrerer sig omkring tre områder på Grønlands vestkyst; Kangerlussuaqområdet, Nuukområdet samt Sydgrønland. Områderne er vist på nedenstående Figur H.8.



Figur H.8 Interesse områder for RenVeg projektet (se følgende sider for koordinatdefinition)

De viste billeder er ikke oprettede quick-looks for rådataene (TM4, 3, 2 i henholdsvis rød, grøn og blå) og viser derfor ikke alle detaljer af skyer og billedfejl.

H.5.1 Kangerlussuaqområdet

Kangerlussuaq er udvalgt for dets store betydning for dels rensdyr og dels moskusokser. Området strækker sig fra Nordre Strømfjord i nord til Sukkertoppen Iskappe i syd og fra kysten ved Sisimiut helt ind til indlandsisen bag Kangerlussuaq.

Geografisk afgrænsning

Tabel H.9 Geografisk afgrænsning af Kangerlussuaqområdet

	UTM zone 22 [†]		Bredde / Længde [†]	
	Easting	Northing	Breddegrad	Længdegrad
Nordvestlige hjørne	374.000	7.493.000	67°31'32.9" N	53°57'16.5"V
Sydøstlige hjørne	570.000	7.355.000	66°18'25.1" N	49° 26'19.6"V

[†] Datum: WGS 84

Kangerlussuaqområdet tilsvare et område på 196 km * 138 km som ved en opløsning på 25 m * 25 m er 7840*5520 pixels.

Der er anvendt to Landsat TM scener til kortlægningen af dette område: et fra 22. juni 1995 og et fra 3. september 1996.

H.5.1.1 22. juni 1995

Billedet fra 22. juni 1995 er et Landsat 5 Thematic Mapper billede og er beskrevet med parametre og status nedenfor.



Figur H.9 Quick-look for Landsat 5 TM fra 22. juni 1995, path 8, row 13

Sensor: Landsat 5 TM
Overflyvning: 22. juni 1995 kl. 14:00:53
Path/Row: 08/13
Interesseområde: Kangerlussuaq
Dækning af rådata: Øvre venstre hjørne: 68°00'N, 52°35'V

Nedre venstre hjørne: 66°31'N, 54°01'V
Øvre højre hjørne: 67°21'N, 48°21'V
Nedre højre hjørne: 65°55'N, 50°00'V

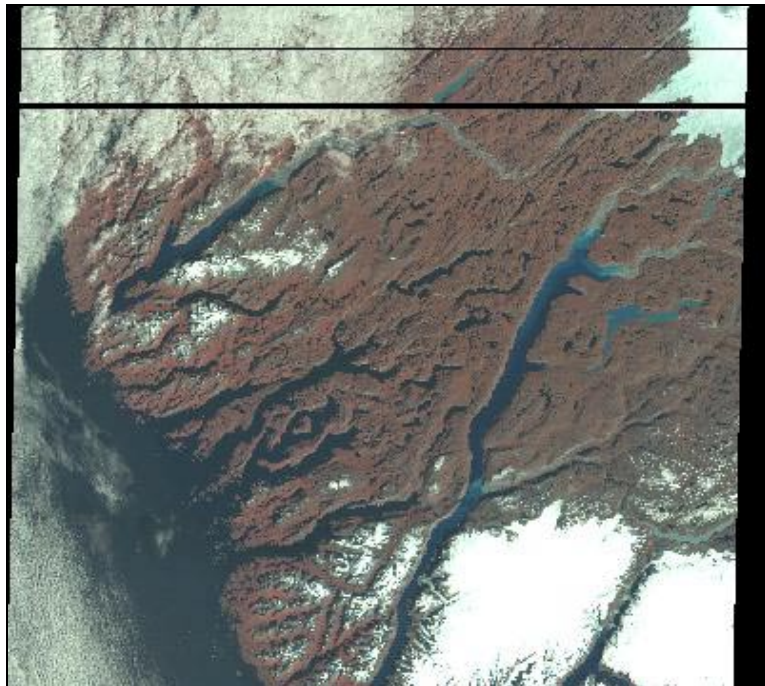
Teknisk kvalitet: Billedet er af god teknisk kvalitet. Dog er der stadig den normale sribning (16 linie – sribning).

Billedmæssig kvalitet: Den sydvestlige del af billedet, syd for en linie mellem Søndre Strømfjord og Sisimiut, er dækket af skyer. Der er desuden enkelte skyer og cirrus i midten og i den nordlige del af billedet.

Status for processing: Destribet med FFT og atmosfærisk korrigeret i ATCOR. Oprettet til UTM zone 22 (WGS84) efter højdemodel baseret på data fra GEUS samt kystlinie fra KMS. Oprettningen er foretaget med *nearest neighbour* og 2.gradspolynomium. Billedet er resamlet til en pixelstørrelse på 25*25 meter med 92 GCP'er og en middelusikkerhed på 0.85 pixel. Billedet er dermed klar til klassifikationsprocessen.

H.5.1.2 3. september 1996

Billedet fra 3. september 1996 er et Landsat 5 Thematic Mapper billede og er beskrevet med parametre og status nedenfor.



Figur H.10 Quick-look for Landsat 5 TM fra 3. september 1996, path 9, row 13

Sensor: Landsat 5 TM
Overflyvning: 3. september 1996 kl. 14:18:16
Path/Frame: 09/13
Interesseområde: Kangerlussuaq
Dækning af rådata: Øvre venstre hjørne: 67°56'N, 53°37'V
Nedre venstre hjørne: 66°27'N, 55°04'V
Øvre højre hjørne: 67°16'N, 49°25'V
Nedre højre hjørne: 65°50'N, 51°05'V

Teknisk kvalitet: Billedet har i den øverste del et line-dropout på 65 lines. Der er desuden pixels omkring som har tydeligt forkerte værdier. Billedet indeholder den sædvanlige 16linie – sribning.

Billedmæssig kvalitet: I øverste nordøstlige kvadrant er der skyer; cirka fra Nordre Isortoq og nordover. Der ligger desuden en skykant over havet nogle kilometer fra kysten. De højeste fjelde samt områder omkring Sukkertoppen Iskappe er snedækket.

Status for processering: Atmosfærisk korrigeret i ATCOR. Oprettet til UTM zone 22 (WGS84) efter højdemodel baseret på data fra GEUS samt kystlinie fra KMS. Oprettningen er foretaget med *nearest neighbour*. Billedet er resamplet til en pixelstørrelse på 25*25 meter med 45 GCP'er og en middelusikkerhed på 0.83 pixel. Billedet er dermed klar til klassifikationsprocessen.

H.5.2 Nuukområdet

Nuuk er udvalgt for dets betydning for dels vilde rensdyr på Akia og nord for Godthåbsfjorden og dels for den tidligere tamme rensdyrbestand i den østlige del af Godthåbsfjorden. Området strækker sig fra Fiskefjorden i nord til syd for Buksefjorden i syd og fra yderkysten af Akia helt ind til indlandsisen bag Kapisillit.

Geografisk afgrænsning

Tabel H.10 Geografisk afgrænsning af Nuukområdet

	UTM zone 22 [†]		Bredde / Længde [†]	
	Easting	Northing	Breddegrad	Længdegrad
Nordvestlige hjørne	443.000	7.244.000	65°18'50.3" N	52°13'23.4"V
Sydøstlige hjørne	578.000	7.063.000	63°41'10.0" N	49°25'22.3"V

[†] Datum: WGS 84

Nuukområdet tilsvare et område på 135 km * 181 km som ved en opløsning på 25 m * 25 m er 5400*7240 pixels.

Der er anvendt to Landsat TM scener til kortlægningen af dette område: et fra 20. juli 1993 og et fra 1. juli 1995.

H.5.2.1 20 juli 1993

Billedet fra 20. juli 1993 er et Landsat 5 Thematic Mapper billede og er beskrevet med parametre og status nedenfor.



Figur H.11 Quick-look for Landsat 5 TM fra 20. juli 1993, path 6, row 15

<i>Sensor:</i>	Landsat 5 TM	
<i>Overflyvning:</i>	20. juli 1993 kl. 14:06:04	
<i>Path/Frame:</i>	06/15	
<i>Interesseområde:</i>	Nuuk	
<i>Dækning af rådata:</i>	Øvre venstre hjørne:	65°14'N, 51°50'V
	Nedre venstre hjørne:	63°45'N, 53°01'V
	Øvre højre hjørne:	64°39'N, 47°59'V
	Nedre højre hjørne:	63°11'N, 49°21'V

Teknisk kvalitet: Billedet er af god teknisk kvalitet. Dog er der stadig den normale stribning (16 linie – stribning).

Billedmæssig kvalitet: Billedet dækker godt. Kun den nordligste del af Nuuk området er ikke dækket. Der er ingen skyer på billedet og snedækket er minimalt.

Status for processing: Indhentet i ENVI og atmosfærisk korrigeret i ATCOR. Billedet er geometrisk oprettet til UTM zone 22 (WGS84) efter dels kystlinie fra KMS og dels højdedata fra Compukort. Der blev anvendt nearest neighbour og 2.grads polynomium som med 42 GCP'er resulterede i en usikkerhed på opretningen på +/-0.97 pixels. Billedet er resamplet til 25 * 25 m pixels og er dermed klar til klassifikationsprocessen.

H.5.2.2 1. juli 1995

Billedet fra 1. juli 1995 er et Landsat 5 Thematic Mapper billede og er beskrevet med parametre og status nedenfor.



Figur H.12 H.13 Quick-look for Landsat 5 TM fra 1. juli 1995, path 7, row 14

<i>Sensor:</i>	Landsat 5 TM
<i>Overflyvning:</i>	1. juli 1995 kl. 13:55:30
<i>Path/Frame:</i>	07/14 (07/15)
<i>Interesseområde:</i>	Nuuk
<i>Dækning af rådata:</i>	Øvre venstre hjørne: 65°58'N, 52°50'V Nedre venstre hjørne: 64°31'N, 54°03'V Øvre højre hjørne: 65°24'N, 49°02'V Nedre højre hjørne: 63°58'N, 50°25'V
<i>Teknisk kvalitet:</i>	Billedet er af god teknisk kvalitet. Dog er der stadig den normale stribning (16 linie – stribning).
<i>Billedmæssig kvalitet:</i>	Billedet er <i>offset</i> så det dækker det sydligste af 07/14 og det nordligste af 07/15. Quick-look'et ovenfor er 07/14. Hele den nordlige del af Nuuk området er dækket. Hele den sydlige og østlige (langs isen) mangler. Billedet er skyfrit med et minimalt snedække.
<i>Status for processing:</i>	Indhentet i ENVI og destribet med først MNF, dernæst FFT af den mest betydende kanal for fjernelse af striber og endelig invers transformation af de 4 mest betydende bånd til et destribet billede. Dernæst atmosfærisk korrigeret i ATCOR og geometrisk oprettet til UTM zone 22 (WGS84) efter dels kystlinie fra KMS og dels højdedata fra Compukort. Der blev anvendt nearest neighbour og 2.grads polynomium. Billedet er resamplet til 25 * 25 m pixels med 37 GCP'er og en middelusikkerhed på 1.19 pixel. Billedet er dermed klar til klassifikationsprocessen.

H.5.3 Sydgrønlandsområdet

Sydgrønland er udvalgt for dets betydning for fåreavl, som er udbredt i hele fjordområdet i Sydgrønland. Området dækker stort set hele den isfrie del af Sydgrønland som ligger mellem de to sydligste istunger af indlandsisen. Dette inkluderer blandt andet Nanortalik, Qaqortoq og Narsarsuaq.

Geografisk afgrænsning

Tabel H.11 Geografisk afgrænsning af Sydgrønlandsområdet

	UTM zone 23 [†]		Bredde / Længde [†]	
	Easting	Northing	Breddegrad	Længdegrad
Nordvestlige hjørne	416.000	6.824.000	61°32'25"N	46°34'48"V
Sydøstlige hjørne	544.000	6.633.000	59°49'56"N	44°12'54"V

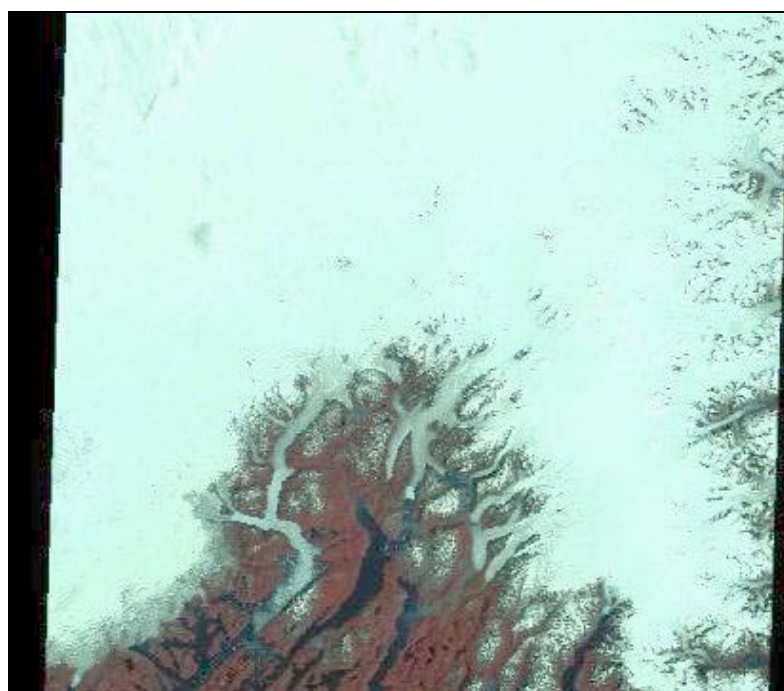
[†] Datum: WGS 84

Sydgrønlandsområdet tilsvare et område på 128 km * 191 km som ved en opløsning på 25 m * 25 m er 5120*7640 pixels.

Der er anvendt tre Landsat TM scener til kortlægningen af dette område: to fra 17. juli 1993 og et fra 20. august 1997.

H.5.3.1 17. juli 1993 Nord

Billedet fra 17. juli 1993 er et Landsat 5 Thematic Mapper billede og er beskrevet med parametre og status nedenfor.



Figur H.14 Quick-look for Landsat 5 TM fra 17. juli 1993, path 1, row 17

Sensor:	Landsat 5 TM
Overflyvning:	17. juli 1993 kl. 13:35:45
Path/Frame:	01/17
Interesseområde:	Sydgrønland
Dækning af rådata:	Øvre venstre hjørne: 62°28'N, 46°13'V
	Nedre venstre hjørne: 60°58'N, 47°13'V

Øvre højre hjørne: 61°56'N, 42°41'V
Nedre højre hjørne: 60°28'N, 43°50'V

Teknisk kvalitet: Billedet er af god teknisk kvalitet. Dog er der stadig den normale stribning (16 linie – stribning).

Billedmæssig kvalitet: Billedet dækker godt og fremhæver tydeligt de vegetationsrige områder.

Status for processing: Billedet er slået sammen med 01/18 for samme dato så nederste halvdel af 01/17 og øverste halvdel af 01/18 tilsammen danner en fuldscene for området. Den nye fuldscene er destribet med MNF over de vegetationsdækkede områder og derefter atmosfærisk korrigeret. Det er oprettet til UTM zone 22 (WGS 84) med *nearest neighbour* og 2.gradspolynomium efter KMS's højdemodel for Sydgrønland med 55 GCP'er og en usikkerhed på 0.95 pixels. Billedet er resamlet til 25*25 m og dermed klar til klassifikation.

H.5.3.2 17. juli 1993 Syd

Billedet fra 17. juli 1993 er et Landsat 5 Thematic Mapper billede og er beskrevet med parametre og status nedenfor.



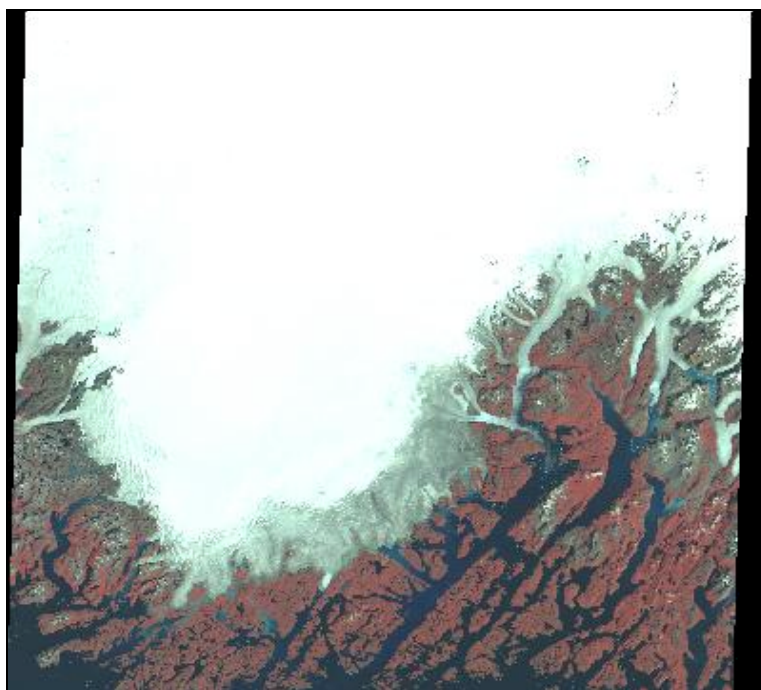
Figur H.15 Quick-look for Landsat 5 TM fra 17. juli 1993, path 1, row 18

Sensor: Landsat 5 TM
Overflyvning: 17. juli 1993 kl. 13:36:08
Path/Frame: 01/18
Interesseområde: Sydgrønland
Dækning af rådata: Øvre venstre hjørne: 61°05'N, 47°09'V
Nedre venstre hjørne: 59°34'N, 48°05'V
Øvre højre hjørne: 60°34'N, 43°46'V
Nedre højre hjørne: 59°05'N, 44°50'V

<i>Teknisk kvalitet:</i>	Billedet har en <i>line drop out</i> i den nordlige del. Ellers af god teknisk kvalitet. Dog er der stadig den normale stribning (16 linie – stribning).
<i>Billedmæssig kvalitet:</i>	Billedet dækker godt den sydlige del af Sydgrønlandsområdet. Enkelte skyer langt ude over havet.
<i>Status for processing:</i>	Billedet er slået sammen med 01/17 for samme dato, så nederste halvdel af 01/17 og øverste halvdel af 01/18 tilsammen danner en fuldscene for området. Den nye fuldscene er destribet med MNF over de vegetationsdækkede områder og derefter atmosfærisk korrigeret. Det er oprettet til UTM zone 22 (WGS 84) med <i>nearest neighbour</i> og 2.gradspolynomium efter KMS's højdemodel for Sydgrønland med 56 GCP'er og en usikkerhed på 0.87 pixels. Billedet er resamplet til 25*25 m og dermed klar til klassifikation.

H.5.3.3 20. august 1997

Billedet fra 20. august 1997 er et Landsat 5 Thematic Mapper billede og er beskrevet med parametre og status nedenfor.



Figur H.16 Quick-look for Landsat 5 TM fra 17. juli 1993, path 2, row 17 (02/18)

<i>Sensor:</i>	Landsat 5 TM
<i>Overflyvning:</i>	20. august 1997 kl. 13:52:00
<i>Path/Frame:</i>	02/17 (02/18)
<i>Interesseområde:</i>	Sydgrønland
<i>Dækning af rådata:</i>	Øvre venstre hjørne: 62°27'N, 47°38'V
	Nedre venstre hjørne: 60°57'N, 48°39'V
	Øvre højre hjørne: 61°55'N, 44°06'V
	Nedre højre hjørne: 60°26'N, 45°16'V

- Teknisk kvalitet:* Billedet er af god teknisk kvalitet. Dog er der stadig den normale sribning (16 linie – sribning).
- Billedmæssig kvalitet:* Billedet er offset i den øverste tredjedel af 02/17 så øverste tredjedel af 02/18 er med. Quick-look'et ovenfor er kun 02/17. Billedet dækker det meste af Sydgrønlandsområdet undtaget den sydøstlige del. Det er stort set skyfrit (enkelte skyer på Narsaq halvøen).
- Status for processing:* Billedet er destribet med MNF, atmosfærisk korri-
geret i ATCOR og oprettet geometrisk efter KMS-
data fra Sydgrønland med nearest neighbour og 2.
gradspolynomial. Usikkerheden af opretningen er
på baggrund af 50 GCP'er på +/- 0.97 pixels. Bil-
ledet er resamlet til 25*25 m og dermed klar til
klassificering.

H.6 Overfladetyper

I det følgende nævnes kort de forskellige vegetationstyper som er kortlagt. For hver type er de tilhørende ITEX-analyser listet (GNåå-xx) og der henvises til Lund (in prep.) for en nærmere beskrivelse af analysen.

Dværgbuskhede

Den mest forekommende vegetationstype i de kortlagte områder i Vestgrønland er dværgbuskheden, som med sin store variation er en meget alsidig vegetationstype (Figur H.17). Den er domineret af en eller flere af følgende planter: *Betula nana*, *Vaccinium uliginosum*, *Empetrum nigrum*, *Ledum palustre*, *Ledum groenlandicum*, *Rhododendron lapponicum* og indeholder til tider *Salix glauca*.

De analyserede felter med dværgbuskhede inkluderer:

Empetrum nigrum-hede (GN98-17) (GN98-20)

Empetrum nigrum-hede m. *Salix glauca*, fugtig, tuet (GN97-03)

Empetrum nigrum-hede m. *Vaccinium uliginosum*, fugtig, tuet (GN97-11)

Vaccinium uliginosum-hede, åben (GN98-04)

Vaccinium uliginosum-*Empetrum nigrum*-hede (GN98-19)

Betula nana-hede (GN97-05) (GN98-42) (GN98-44) (GN98-45)

Betula nana-hede m. *Ledum groenlandicum*, tør, tuet (GN97-13)

Betula nana-hede, åben, tør (GN97-19)

Betula glandulosa-hede (GN98-06)

Blandet dværgbuskhede (GN98-46)

Blandet dværgbuskhede, fugtig, tuet (GN97-18) (GN97-24)

Blandet dværgbuskhede, fugtig, tuet, mosrig (GN98-39)

Blandet dværgbuskhede, fugtig, frodig, tuet (GN97-09)

Ledum palustre-*Betula nana*-hede (GN98-31)

Salix glauca-*Betula nana* hede, åben, tør (GN97-16)

Blandet dværgbuskhede m. store tuer (frostboils)(GN97-26) (GN97-27)



Figur H.17 Dværgbuskhede nord for Godthåbsfjorden. I forgrunden primært med *Betula nana* (Foto: M.P.Tamstorf).

Lavholdig dværgbuskhede

En undertype af dværgbuskhede, som har fået sin egen gruppe er den lavholdige dværgbuskhede (Figur H.18). Dels er denne type relevant for rensdyr-

ne (Skogland, 1984) og dels er lavdækkets spektralsignatur forskellig fra dværgbuskhedernes. De primære lavtyper er *Cladonia sp.* og *Cetraria sp.* Dværgbuskheder med et lavdække, som ikke botanisk vil placere den i gruppen med Lavholdig Dværgbuskhede, er på grund af deres relevans for rensdyrene og den spektrale forskel fra ren dværgbuskhede lagt ind i gruppen med lavholdige dværgbuskheder.

Snelejetyper, som primært består af dværgbusken *Salix herbacea* og lichen-dække, har en relativ lille spatial udbredelse og er derfor lagt ind under typen, lavholdig dværgbuskhede. Spektralt er dette analysefelt ligeledes ikke signifikant forskelligt fra dem med de lavholdige dværgbuskheder.

De forskellige analyser indeholder:

Lavrig dværgbuskhede m. *Empetrum nigrum* (GN97-10)

Lavrig dværgbuskhede m. *Betula nana* (GN97-28)

Lavrig dværgbuskhede m. blandet dværgbuske (GN97-12) (GN97-23)

Lavrig dværgbuskhede m. *Carex bigelowii* (GN97-22)

Blandet dværgbuskhede, lavrig (GN97-29) (GN97-30) (GN97-31)

Betula nana-hede, lavrig (GN98-49)

Salix herbacea sneleje, lavrig (GN98-50)



Figur H.18 ITEX-analyser i lavholdig dværgbuskhede ved Kanasut på Nordlandet i Nuukområdet (Foto: K.G.Motzfeldt).

Krat

Krat dækker over alle højere vegetationstyper. Disse inkluderer, som det er vist nedenfor, både det meget udbredte *Salix glauca*-krat samt de mægtige *Betula pubescens*-kratskove i Sydgrønland. Blandt andet mægtigheden af alle krattene gør, at de står spektral ud fra de andre (Figur H.19).



Figur H.19 *Salix glauca* krat i indre Godthåbsfjord (Foto: M.P.Tamstorf).

De analyserede felter med krat inkluderer:

- Salix glauca*-krat m. *Betula nana*, tør (GN97-14) (GN98-32)
- Salix glauca*-krat m. dværgbuske (GN98-16)
- Salix glauca*-krat m. *Ledum groenlandicum*, fugtig (GN97-25)
- Salix glauca*-krat m. *Festuca rubra* (GN98-02) (GN98-34)
- Salix glauca*-krat m. *Anthoxanthum odoratum*, fugtig (GN98-11)
- Salix glauca*-krat m. *Thymus praecox*, tør (GN98-13)
- Betula pubescens*-krat (GN98-08) (GN98-14)

Græsland

Græsland forekommer primært i indlandet i Kangerlussuaq, men findes også i de andre områder (Figur H.20). Variationen er stor imellem hovedområderne specielt for græsland i Sydgrønland og ved Kangerlussuaq. Typen dækker over såvel fugtige områder med dominans af *Eriophorum angustifolium* til tørrere områder, hvor *Agrostis mertensii* dominerer.

Typen dækker over analyserne af:

- Agrostis mertensii*-*Festuca rubra*-græsland (GN98-01)
- Agrostis mertensii*-*Juncus trifidus*-græsland (GN98-07)
- Anthoxanthum odoratum*-græsland (GN98-03)
- Poa pratensis*-græsland, tør, nedgræsset (GN98-40)
- Eriophorum scheuchzeri*-*Deschampsia pumila*-græsland, fugtig, nedgræsset (GN98-35)
- Blandet græsland, fugtig, ikke græsset (GN98-36)
- Kobresia myosuroides*-græsland (GN98-09) (GN98-10) (GN98-12)



Figur H.20 Græsland fra Isunngua i indlandet ved Kangerlussuaq. Personen i højre hjørne holder et spektrometer, hvor kameraet er fastspændt på (Foto: M.P.Tamstorf).

Kær

Kær forekommer typisk omkring søer og generelt i områder med konstant vandforsyning enten som stillestående ved søer eller ved fugtige områder, hvor vandet løber hele sommeren (Figur H.21). Kærvegetationen er også en vigtig fødekilde for rensdyr, specielt hvor lav ikke er til rådighed (Skogland, 1984).

Analyserne af kær er listet nedenfor.

Eriophorum angustifolium-moskær (GN97-02)

Eriophorum angustifolium-*Carex rariflora*-kær, tuet (GN97-06) (GN98-15)

Carex rariflora-moskær (GN97-08) (GN98-5) (GN98-38) (GN98-47)

Carex rariflora-*Carex bigelowii* moskær, tuet (GN98-48)

Carex saxatilis-*Carex rariflora*-kær (GN98-18) (GN98-33)



Figur H.21 ITEX-analyser i kærrområde i Nuukområdet (Foto: K.G.Motzfeldt)

Steppe

De analyserede felter af steppe er fundet på sydvendte skrånninger i indlandet, hvor nedbøren er begrænset og sommertemperaturerne relativt høje (Figur H.22).



Figur H.22 Steppe på sydvendt skrånning ved Kangerluarsunnguaq. Røde pæle angiver placeringen af vegetationsanalyserne (Foto: K.G.Motzfeldt).

De fire analysefelter dækker over:

Agrostis mertensii-*Carex scirpoidea*-steppe, blokrig, tør (GN97-04)

Carex supina-steppe, sten/blokrig (GN97-15) (GN98-30)

Kobresia myosuroides-steppe (GN98-37)

Opdyrket / Kraftig vegetation

I Sydgrønland forekommer en del opdyrkede jorde i forbindelse med fåreholderstederne, hvor der gødes og primært dyrkes græs (Figur H.23). I ugerne op til høsten, fremstår disse områder som meget frodige på satellitbillederne. Også tidligere nordboruiner har lignende områder i nærheden da de tidligere opdyrkede og gødede arealer stadig fremstår frodigt og derfor tildeles samme klasse. Endvidere vil områder med meget kraftig vegetation slå ud i denne klasse. På disse områder er der ikke foretaget vegetationsanalyser, men istedet er der målt spektralsignaturer og lavet en generel beskrivelse af vegetationen.



Figur H.23 Opdyrket vegetation (græsmark) ved fåreholdersted i Qassiar-suk (Foto: M.P. Tamstorf)

Fjeldmark / Afblæsningsflade

I alle kortlagte områder forekommer denne type, som typisk findes i højreliggende og vejrudsatte områder (Figur H.24).



Figur H.24 ITEX-analyser på afblæsningsflade ved Itinnera i Nuukområdet (Foto: M.P. Tamstorf).

I Sydgrønland er den dog ikke analyseret. Vegetationsdækket er meget sparsomt, men nok til at det kan isoleres spektralt. Mosser og laver er en vigtig del af disse typer.

De analyserede felter er beskrevet ved:

Afblæsningsflade (GN97-01)

Fjeldmark m. spredte dværgbuske, sten/blokrig (GN97-20)

Afblæsningsflade (GN98-41)

Bar jord / Klippe

Denne type dækker over overflader med ingen eller meget sparsom vegetation (Figur H.25). Specielt klippeområder med dække af mikrolaver vil blive klassificeret i denne gruppe, i modsætning til i gruppen Fjeldmark / Afblæsningsflader, på grund af dennes ringe biomasse. Generelt er det højtliggende og meget vindudsatte områder, som er tildelt denne klasse. Der er ikke foretaget nogen analyser på denne type.



Figur H.25 Klippeoverflade nord for Godthåbsfjorden (Foto: M.P.Tamstorf)

H.6.1.1 Vegetationsløse overflader

Snedække

Snedækkede områder inkluderer både gletschere, firn samt sne fra samme år, som endnu ikke er smeltet. På grund af det lille udvalg af anvendelige satellitbilleder har det været svært at dække alle områder, som normalt smelter fri.

Vand

Vand inkluderer alle elve, søer og hav, som ikke har stort tilløb af smeltvand fra gletschere.

Siltet vand

Siltet vand forekommer, hvor afløb fra gletschere medfører et højt siltindhold og transport af dette.

Skygger

I alle områder med relief vil en lav solhøjde medføre skygger på et satellitbillede. Disse nordvendte skråninger er svære at klassificere idet meget lidt information (sollys) reflekteres fra disse områder. De er derfor klassificeret som skyggeområder.

Skyer

I lighed med de snedækkede områder har det grundet det lille udvalg af anvendelige satellitbilleder ikke været muligt at opnå skyfri dækning fra alle

områder. Specielt Kangerlussuaqområdet har skydækning i det nordvestlige hjørne på alle de anvendte billeder.

H.7 Træningsområder

På de følgende sider vises resultaterne af test mellem træningsarealernes spektrale sammensætning fra henholdsvis satellitsensoren og spektroradiometret.

H.7.1 Kangerlussuaqområdet

Tabel H.12 Refleksionsdata for træningsområder i Kangerlussuaq hovedområdet. Henholdsvis Landsat TM- og Cropscan MSR- værdier

Kangerlussuaq		TM-signaturer					MSR-signaturer				
		TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5
Dværgbusk- hede	Min.	1	4	3	16	16	2	3	2	13	9
	Max.	9	12	13	39	48	4	6	6	35	21
	Mean	4.33	7.40	7.79	30.53	33.77	2.35	3.98	4.09	22.54	15.42
	Var.	5.12	7.13	10.89	46.88	88.89	0.31	0.47	1.16	21.66	9.23
	Std. Dev.	2.26	2.67	3.30	6.85	9.43	0.55	0.69	1.08	4.65	3.04
	n	77	77	77	77	77	143	143	143	143	143
Fjeldmark	Min.	5	10	13	20	44	10	12	14	16	28
	Max.	14	18	24	30	53	12	14	16	18	32
	Mean	7.56	12.16	15.54	23.28	46.33	11.52	12.94	15.23	17.24	30.45
	Var.	3.90	2.80	4.48	7.28	3.46	0.32	0.54	0.85	0.28	1.16
	Std. Dev.	1.98	1.67	2.12	2.70	1.86	0.57	0.73	0.92	0.53	1.08
	n	45	45	45	45	45	24	24	24	24	24
Græsland	Min.	4	8	8	35	41	1	3	3	20	21
	Max.	8	12	15	51	55	6	7	9	34	35
	Mean	5.23	9.13	10.97	42.43	46.20	3.17	4.96	5.79	25.18	26.18
	Var.	1.26	1.35	4.32	31.23	19.39	1.70	2.32	3.32	19.31	16.89
	Std. Dev.	1.12	1.16	2.08	5.59	4.40	1.30	1.52	1.82	4.39	4.11
	n	15	15	15	15	15	72	72	72	72	72
Kær	Min.	2	5	5	18	24	1	3	3	13	7
	Max.	8	10	13	34	40	4	7	8	31	24
	Mean	3.73	6.14	7.50	24.23	29.23	2.58	4.36	4.52	21.59	14.54
	Var.	4.34	2.87	7.32	24.97	28.70	0.74	1.57	1.98	22.95	22.05
	Std. Dev.	2.08	1.69	2.71	5.00	5.36	0.86	1.25	1.41	4.79	4.70
	n	11	11	11	11	11	96	96	96	96	96
Krat	Min.	1	5	3	32	21	2	3	2	16	9
	Max.	6	10	12	47	41	3	5	4	23	17
	Mean	3.12	6.91	6.16	41.50	30.50	2.27	3.95	3.01	20.36	12.02
	Var.	2.15	2.93	9.14	11.59	50.99	0.20	0.41	0.40	4.73	7.01
	Std. Dev.	1.47	1.71	3.02	3.40	7.14	0.45	0.64	0.63	2.18	2.65
	n	34	34	34	34	34	48	48	48	48	48
Lavholdig dværgbuskhede	Min.	10	13	15	29	50	4	5	6	19	22
	Max.	12	15	18	33	56	8	9	11	24	29
	Mean	10.63	13.71	16.21	30.75	52.79	5.79	7.22	8.53	22.15	24.83
	Var.	0.30	0.52	0.44	1.94	4.14	1.88	1.54	3.24	1.79	5.36
	Std. Dev.	0.55	0.72	0.66	1.39	2.04	1.37	1.24	1.80	1.34	2.32
	n	12	12	12	12	12	48	48	48	48	48
Steppe	Min.	8	11	15	32	53	5	7	8	19	25
	Max.	14	21	27	41	66	9	11	13	25	33
	Mean	11.05	16.13	19.83	37.05	58.43	7.21	9.17	10.82	20.97	29.42
	Var.	2.52	6.25	10.18	5.97	20.26	3.91	2.68	3.98	2.35	5.74
	Std. Dev.	1.59	2.50	3.19	2.44	4.50	1.98	1.64	2.00	1.53	2.40
	n	20	20	20	20	20	48	48	48	48	48

: Største SD

Tabel H.13 Resultat af F- og t-test for sammenligningen af satellitdata og spektralsignaturer for træningsområderne i Kangerlussuaq hovedområde

		F-test (0.05-niveau)					t-test (0.05-niveau)					
		TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	
Dværgbusk-hede	F-værdi	16.765	15.180	9.418	2.164	9.634	t-værdi	7.54	11.04	9.57	9.16	16.63
	f ₁	77	77	77	77	77	c-værdi	1.99	1.99	1.989	1.983	1.989
	f ₂	143	143	143	143	143	Frihedsgrad ¹	81	81	85	115	85
	c-værdi	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	Forkastes M ₁ =M ₂ ?	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
	Forkastes SD ₁ =SD ₂	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja						
Fjeldmark	F-værdi	12.095	5.198	5.288	26.065	2.972	t-værdi	-12.53	-2.68	0.86	14.50	44.88
	f ₁	45	45	45	45	45	c-værdi	2.004	1.997	1.997	2.009	1.997
	f ₂	24	24	24	24	24	Frihedsgrad ¹	56	65	65	50	66
	c-værdi	1.875	1.875	1.875	1.875	1.875	Forkastes M ₁ =M ₂ ?	Ja	Ja	Nej	Ja	Ja
	Forkastes SD ₁ =SD ₂	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja						
Græsland	F-værdi	1.345	1.718	1.299	1.617	1.148	t-værdi	6.28	11.95	8.96	11.26	16.20
	f ₁	72	72	15	15	15	c-værdi	1.986	1.986	1.986	1.986	1.986
	f ₂	15	15	72	72	72	Frihedsgrad ¹	85	85	85	85	85
	c-værdi	2.14	2.14	1.805	1.805	1.81	Forkastes M ₁ =M ₂ ?	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
	Forkastes SD ₁ =SD ₂	Nej	Nej	Nej	Nej	Nej						
Kær	F-værdi	5.898	0.546	3.702	1.088	1.302	t-værdi	1.82	3.37	3.60	1.67	8.72
	f ₁	11	11	11	11	11	c-værdi	2.228	1.984	2.201	1.984	1.984
	f ₂	96	96	96	96	96	Frihedsgrad ¹	10	105	11	105	105
	c-værdi	1.895	1.895	1.895	1.895	1.9	Forkastes M ₁ =M ₂ ?	Nej	Ja	Ja	Nej	Ja
	Forkastes SD ₁ =SD ₂	Ja	Nej	Ja	Nej	Nej						
Krat	F-værdi	10.484	7.094	23.061	2.449	7.274	t-værdi	3.26	9.60	5.98	31.89	14.41
	f ₁	34	34	34	34	34	c-værdi	2.026	2.021	2.03	2.008	2.023
	f ₂	48	48	48	48	48	Frihedsgrad ¹	37	40	35	52	39
	c-værdi	1.676	1.676	1.676	1.676	1.68	Forkastes M ₁ =M ₂ ?	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
	Forkastes SD ₁ =SD ₂	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja						
Lavholdig dværgbuskhede	F-værdi	6.332	2.967	7.449	1.084	1.294	t-værdi	19.12	23.64	23.81	19.28	41.36
	f ₁	48	48	48	12	48	c-værdi	2.013	2.042	2.009	2.002	2.002
	f ₂	12	12	12	48	12	Frihedsgrad ¹	46	30	50	58	58
	c-værdi	2.405	2.405	2.405	1.96	2.41	Forkastes M ₁ =M ₂ ?	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
	Forkastes SD ₁ =SD ₂	Ja	Ja	Ja	Nej	Nej						
Steppe	F-værdi	0.645	2.332	0.391	0.393	0.283	t-værdi	8.44	11.47	11.71	27.27	27.25
	f ₁	48	20	20	20	20	c-værdi	1.996	2.056	1.996	1.996	1.996
	f ₂	20	48	48	48	48	Frihedsgrad ¹	66	26	66	66	66
	c-værdi	1.97	1.79	1.79	1.79	1.79	Forkastes M ₁ =M ₂ ?	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
	Forkastes SD ₁ =SD ₂	Nej	Ja	Nej	Nej	Nej						
		: Spredningen for de to metoder er IKKE ens : Spredningen for de to metoder ER ens : Middelværdien for de to metoder er IKKE ens : Middelværdien for de to metoder ER ens										

¹ Hvor spredningen ikke er ens, er frihedsværdien for t-test beregnet efter Welsh i Zar (1999)

H.7.2 Nuukområdet

Tabel H.14 Refleksionsdata for træningsområder i Nuuk hovedområdet. Henholdsvis Landsat TM- og Cropscan MSR- værdier

Nuuk		TM-signaturer					MSR-signaturer					
		TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	
Dværgbusk- hede	Min.	1	3	3	23	15		2	3	3	12	9
	Max.	7	8	10	44	31		8	11	11	35	29
	Mean	2.85	5.21	5.79	28.03	23.94		3.23	5.16	5.25	20.49	18.19
	Var.	0.71	1.02	1.50	10.45	17.41		2.08	2.51	3.45	20.04	20.20
	Std. Dev.	0.85	1.01	1.22	3.23	4.17		1.44	1.58	1.86	4.48	4.49
	n	242	242	242	242	242		263	263	263	263	263
Fjeldmark	Min.	0	1	2	4	5		4	3	7	11	21
	Max.	13	15	18	29	46		7	8	9	15	23
	Mean	6.78	8.84	10.53	18.77	33.48		5.71	4.67	8.37	12.86	21.90
	Var.	7.29	9.65	13.53	37.77	116.89		0.67	3.27	0.62	1.75	0.63
	Std. Dev.	2.70	3.11	3.68	6.15	10.81		0.82	1.81	0.79	1.32	0.79
	n	266	266	266	266	266		49	49	49	49	49
Kær	Min.	1	2	4	8	5		2	1	4	15	12
	Max.	7	9	11	31	32		4	7	9	29	29
	Mean	2.94	5.00	5.87	21.17	20.79		3.24	4.91	6.38	21.31	19.50
	Var.	1.59	1.93	2.13	52.34	55.19		0.38	1.68	2.26	20.37	24.22
	Std. Dev.	1.26	1.39	1.46	7.24	7.43		0.62	1.30	1.50	4.51	4.92
	n	42	42	42	42	42		67	67	67	67	67
Krat	Min.	2	4	4	24	24		2	4	2	19	13
	Max.	6	9	9	56	37		3	5	4	34	17
	Mean	3.18	5.79	5.35	44.44	27.75		2.54	4.62	3.56	26.02	15.73
	Var.	0.53	0.86	1.39	22.19	6.06		0.17	0.27	0.38	19.89	1.58
	Std. Dev.	0.73	0.93	1.18	4.71	2.46		0.42	0.52	0.62	4.46	1.26
	n	196	196	196	196	196		48	48	48	48	48
Lauholdig dværgbuskhede	Min.	3	5	6	24	24		3	6	5	18	14
	Max.	8	11	13	37	38		14	17	20	34	30
	Mean	4.70	6.84	8.32	28.13	28.68		7.44	9.94	11.05	23.47	21.76
	Var.	2.49	4.22	6.05	15.05	13.51		6.31	8.27	10.53	12.67	14.03
	Std. Dev.	1.58	2.05	2.46	3.88	3.68		2.51	2.88	3.24	3.56	3.75
	n	45	45	45	45	45		192	192	192	192	192
Steppe	Min.	8	10	11	25	35		3	6	6	14	13
	Max.	11	13	14	31	42		7	9	11	29	27
	Mean	8.77	11.23	12.60	28.23	38.00		5.89	7.86	9.44	18.70	23.80
	Var.	0.90	1.66	1.67	4.00	7.67		0.89	0.72	2.21	17.95	18.33
	Std. Dev.	0.95	1.29	1.29	2.00	2.77		0.94	0.85	1.49	4.24	4.28
	n	15	15	15	15	15		48	48	48	48	48
		: Største SD										

Tabel H.15 Resultat af F- og t-test for sammenligningen af satellitdata og spektralsignaturer for træningsområderne i Nuuk hovedområde

	F-test (0.05-niveau)					t-test (0.05-niveau)						
	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5		
Dværgbusk-hede	F-værdi	2.911	2.457	2.303	1.919	1.161	t-værdi	-3.63	0.45	3.84	21.81	14.90
	f ₁	263	263	263	263	263	c-værdi	1.97	1.97	1.97	1.96	1.97
	f ₂	242	242	242	242	242	Frihedsgrad ¹	429	449	457	477	503
	c-værdi	1.174	1.174	1.174	1.174	1.174	Forkastes M ₁ =M ₂ ?	Ja	Nej	Ja	Ja	Ja
	Forkastes SD ₁ =SD ₂ ?	Ja	Ja	Ja	Ja	Nej						
Fjeldmark	F-værdi	10.869	2.955	21.821	21.594	186.089	t-værdi	5.29	13.00	8.58	14.03	17.22
	f ₁	266	266	266	266	266	c-værdi	1.97	1.98	1.97	1.97	1.97
	f ₂	49	49	49	49	49	Frihedsgrad ¹	251	109	308	308	279
	c-værdi	1.445	1.445	1.445	1.445	1.445	Forkastes M ₁ =M ₂ ?	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
	Forkastes SD ₁ =SD ₂ ?	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja						
Kær	F-værdi	4.130	1.148	1.062	2.569	2.279	t-værdi	-1.42	0.33	-1.74	-0.11	0.99
	f ₁	42	42	67	42	42	c-værdi	2	1.99	1.99	2	2
	f ₂	67	67	42	67	67	Frihedsgrad ¹	54	107	107	61	64
	c-værdi	1.672	1.672	1.671	1.672	1.672	Forkastes M ₁ =M ₂ ?	Nej	Nej	Nej	Nej	Nej
	Forkastes SD ₁ =SD ₂ ?	Ja	Nej	Nej	Ja	Ja						
Krat	F-værdi	3.063	3.135	3.665	1.115	3.843	t-værdi	8.01	11.68	14.58	25.36	47.58
	f ₁	196	196	196	196	196	c-værdi	1.98	1.98	1.98	1.97	1.98
	f ₂	48	48	48	48	48	Frihedsgrad ¹	127	129	142	242	146
	c-værdi	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	Forkastes M ₁ =M ₂ ?	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
	Forkastes SD ₁ =SD ₂ ?	Ja	Ja	Ja	Nej	Ja						
Lavhøjdig dværgbusk-hede	F-værdi	2.530	1.961	1.741	1.187	1.038	t-værdi	-9.22	-8.38	-6.27	7.37	11.33
	f ₁	192	192	192	45	192	c-værdi	1.98	1.99	1.99	1.97	1.97
	f ₂	45	45	45	192	45	Frihedsgrad ¹	103	89	84	235	235
	c-værdi	1.47	1.47	1.47	1.44	1.47	Forkastes M ₁ =M ₂ ?	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
	Forkastes SD ₁ =SD ₂ ?	Ja	Ja	Ja	Nej	Nej						
Steppe	F-værdi	1.005	2.304	1.320	4.493	2.390	t-værdi	10.28	9.50	7.97	11.91	15.03
	f ₁	15	15	48	48	48	c-værdi	2	2.1	2	2.01	2.03
	f ₂	48	48	15	15	15	Frihedsgrad ¹	61	18	61	51	37
	c-værdi	1.88	1.88	2.184	2.184	2.184	Forkastes M ₁ =M ₂ ?	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
	Forkastes SD ₁ =SD ₂ ?	Nej	Ja	Nej	Ja	Ja						
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> Spredningen for de to metoder er IKKE ens Spredningen for de to metoder ER ens </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> Middelværdien for de to metoder er IKKE ens Middelværdien for de to metoder ER ens </div>												

¹ Hvor spredningen ikke er ens, er frihedsværdien for t-test beregnet efter Welch i Zar (1999)

H.7.3 Sydgrønlandsområdet

Tabel H.16 Refleksionsdata for træningsområder i Sydgrønland hovedområde. Henholdsvis Landsat TM- og Cropscan MSR- værdier

Sydgrønland		TM-signaturer					MSR-signaturer				
		TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5
Dværgbusk- hede	Min.	3	4	5	20	13	2	3	3	18	11
	Max.	7	9	11	43	31	6	13	8	40	25
	Mean	4.28	6.46	7.12	32.05	22.37	3.28	7.71	5.29	28.41	16.62
	Var.	0.89	1.81	2.94	29.85	20.17	0.95	7.35	2.30	39.86	9.46
	Std. Dev.	0.94	1.35	1.71	5.46	4.49	0.97	2.71	1.52	6.31	3.08
	n	116	116	116	116	116	119	119	119	119	119
Græsland	Min.	4	6	7	21	21	3	5	4	19	13
	Max.	8	13	18	44	34	8	36	12	34	267
	Mean	6.15	8.98	11.85	30.88	28.80	5.00	14.95	8.34	26.68	40.23
	Var.	1.50	5.46	14.14	29.06	15.01	2.13	121.14	4.81	18.53	2420.35
	Std. Dev.	1.23	2.34	3.76	5.39	3.87	1.46	11.01	2.19	4.31	49.20
	n	30	30	30	30	30	168	168	168	168	168
Kær	Min.	2	3	3	5	2	2	4	3	24	12
	Max.	4	6	6	37	14	7	29	8	36	23
	Mean	2.70	4.50	4.55	18.40	8.60	4.00	13.18	5.26	28.75	16.62
	Var.	0.41	0.80	1.07	97.84	16.99	1.60	62.12	1.36	12.14	8.02
	Std. Dev.	0.64	0.89	1.04	9.89	4.12	1.26	7.88	1.17	3.48	2.83
	n	10	10	10	10	10	144	144	144	144	144
Krat	Min.	2	2	2	8	3	2	4	3	23	10
	Max.	5	6	6	25	17	5	31	8	43	33
	Mean	3.25	4.17	4.17	17.27	10.71	3.24	14.70	5.53	32.57	21.34
	Var.	0.94	1.89	2.31	28.77	23.42	1.10	114.52	3.28	54.45	59.79
	Std. Dev.	0.97	1.37	1.52	5.36	4.84	1.05	10.70	1.81	7.38	7.73
	n	24	24	24	24	24	72	72	72	72	72
		: Største SD									

Table H.17 Resultat af F- og t-test for sammenligningen af satellitdata og spektralsignaturer for træningsområderne i Sydgrønland hovedområde

	F-test (0.05-niveau)					t-test (0.05-niveau)						
		TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	
Dværgbusk-hede	F-værdi	1.068	4.062	1.276	1.335	2.133	t-værdi	7.98	-4.49	8.68	4.73	11.41
	f ₁	119	119	116	119	116	c-værdi	1.972	1.975	1.972	1.972	1.97
	f ₂	116	116	119	116	119	Frihedsgrad ¹	233	174	233	233	203
	c-værdi	1.38	1.375	1.38	1.38	1.375	Forkastes M ₁ =M ₂ ?	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
	Forkastes SD ₁ =SD ₂ ?	Nej	Ja	Nej	Nej	Ja						
Græsland	F-værdi	1.416	22.200	2.942	1.568	161.272	t-værdi	4.61	-6.28	4.96	4.04	-2.96
	f ₁	168	168	30	30	168	c-værdi	1.972	1.973	2.035	2.028	1.98
	f ₂	30	30	168	168	30	Frihedsgrad ¹	196	192	33	36	178
	c-værdi	1.66	1.66	1.53	1.53	1.66	Forkastes M ₁ =M ₂ ?	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
	Forkastes SD ₁ =SD ₂ ?	Nej	Ja	Ja	Ja	Ja						
Kær	F-værdi	3.906	77.724	1.268	8.058	2.118	t-værdi	-5.70	-12.13	-2.09	-3.30	-6.05
	f ₁	144	144	144	10	10	c-værdi	2.145	1.981	1.978	2.262	2.23
	f ₂	10	10	10	144	144	Frihedsgrad ¹	14	130	152	9	10
	c-værdi	2.57	2.57	2.57	1.9	1.895	Forkastes M ₁ =M ₂ ?	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
	Forkastes SD ₁ =SD ₂ ?	Ja	Ja	Nej	Ja	Ja						
Krat	F-værdi	1.170	60.662	1.423	1.892	2.553	t-værdi	0.03	-8.16	-3.62	-10.94	-7.91
	f ₁	72	72	72	72	72	c-værdi	1.986	1.991	1.986	2.0045	2
	f ₂	24	24	24	24	24	Frihedsgrad ¹	94	78	94	54	64
	c-værdi	1.82	1.82	1.82	1.82	1.82	Forkastes M ₁ =M ₂ ?	Nej	Ja	Ja	Ja	Ja
	Forkastes SD ₁ =SD ₂ ?	Nej	Ja	Nej	Ja	Ja						
<p> ■ : Spredningen for de to metoder er IKKE ens ■ : Spredningen for de to metoder ER ens ■ : Middelværdien for de to metoder er IKKE ens ■ : Middelværdien for de to metoder ER ens </p>												

¹ Hvor spredningen ikke er ens, er frihedsværdien for t-test beregnet efter Welsh i Zar (1999)

H.8 Typeanalyser

H.8.1 Kangerlussuaq

Tabel H.18 Overfladetypefordelingen i Kangerlussuaqområdet

Klasse	Type	Pixels	Kvadrat-km	% af samlet	% af vegetation
0	Dværgbuskhede	13113119	8195.7	30.3	54.3
1	Fjeldmark	3755173	2347.0	8.7	15.5
2	Græsland	1762909	1101.8	4.1	7.3
3	Kær	504315	315.2	1.2	2.1
4	Krat	2219288	1387.1	5.1	9.2
5	Lavholdig dværgbuskhede	693718	433.6	1.6	2.9
6	Steppe	2117463	1323.4	4.9	8.8
7	Bar jord / Klippe	3818867	2386.8	8.8	
8	Skygge	1491278	932.0	3.4	
9	Vand	5583234	3489.5	12.9	
10	Siltet vand	627113	391.9	1.4	
11	Sne/is	5095276	3184.5	11.8	
12	Skyer	2397962	1498.7	5.5	
255	Baggrund	97085	60.7	0.2	
Samlet		43276800	27048	100.0	
Vegetation		24165985			100.0

H.8.2 Nuuk

Tabel H.19 Overfladetypefordelingen i Nuukområdet

Klasse	Type	Pixels	Kvadrat-km	% af samlet	% af vegetation
0	Dværgbuskhede	2685892	1678.7	6.9	13.5
1	Fjeldmark	9533117	5958.2	24.4	47.8
2	Græsland	763332	477.1	2.0	3.8
3	Kær	1858718	1161.7	4.8	9.3
4	Krat	421598	263.5	1.1	2.1
5	Lavholdig dværgbuskhede	4017898	2511.2	10.3	20.2
6	Steppe	654323	409.0	1.7	3.3
7	Bar jord / Klippe	3349718	2093.6	8.6	
8	Skygge	471914	294.9	1.2	
9	Vand	8285792	5178.6	21.2	
10	Siltet vand	873494	545.9	2.2	
11	Sne/is	6180204	3862.6	15.8	
Samlet		39096000	24435	100.0	
Vegetation		19934878			100.0

H.8.3 Sydgrønland

Tabel H.20 Overfladetypefordelingen i Sydgrønlandsområdet

Klasse	Type	Pixels	Kvadrat-km	% af samlet	% af vegetation
0	Dværgbuskhede	3139800	1962.4	8.0	34.2
1	Lavholdig dværgbuskhede	89581	56.0	0.2	1.0
2	Krat	1066733	666.7	2.7	11.6
3	Kær	278333	174.0	0.7	3.0
4	Græsland	1435410	897.1	3.7	15.6
5	Opdyrket	12016	7.5	0.0	0.1
6	Fjeldmark	3157375	1973.4	8.1	34.4
7	Bar jord / Klippe	3912782	2445.5	10.0	
8	Skygge	638149	398.8	1.6	
9	Vand	12056668	7535.4	30.8	
10	Sne	7900422	4937.8	20.2	
11	Is / smeltevand	5429355	3393.3	13.9	
12	Skyer	176	0.1	0.0	
Samlet		39116800	24448	100	
Vegetation		9179248			100.0

H.9 AVHRR punktdata

Eksempel på opbygning af data fil med punktdata fra NSIDC.:

32 is the number of header lines including this line

Start date: 970101

End date: 971231

Hemisphere: north

Name: eth_cu_camp

Center column: 2243

Center row: 4785

Radius: 0

Pixels per sample: 1

Number of samples: 730

00=samp : sample number

01=chn1 : channel 1 albedo % from valid pixels

02=chn2 : channel 2 albedo % from valid pixels

03=chn3 : channel 3 Kelvin from valid pixels

04=chn4 : channel 4 Kelvin from valid pixels

05=chn5 : channel 5 Kelvin from valid pixels

06=solz : solar zenith degrees from center pixel

07=sael : satellite elevation degrees from center pixel

08=reaz : relative azimuth degrees from center pixel

09=temp : surface temperature Kelvin from valid pixels

10=albd : surface albedo % from valid pixels

11=time : GMT time in hours from center pixel

12=amsk : AVHRR surface type mask from center pixel

13=cmsk : cloud mask from center pixel

14=omsk : orbit mask from center pixel

15=valid : number of valid pixels in sample

16=clear : number of clear pixels in sample

17=match : number of center pixel orbit matches in sample

18=year : year

19=day : day of year

20=local : target local time

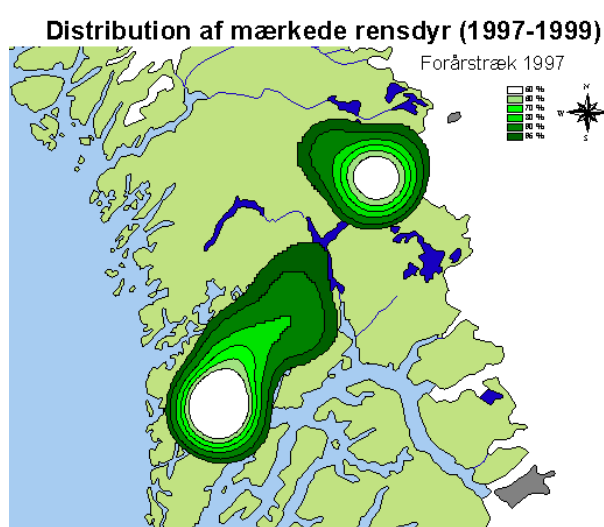
00=samp 01=chn1 02=chn2 03=chn3 04=chn4 05=chn5 06=solz 07=sael
08=reaz 09=temp 10=albd 11=time 12=amsk 13=cmsk 14=omsk 15=valid
16=clear 17=match 18=year 19=day 20=local 0 0.00 0.00 216.40 210.60
205.30 108.50 30.90 128.50 217.50 0.00 9.90 200 234 11 1 0 1 1997 1
400..... etc.

H.10 Home Ranges

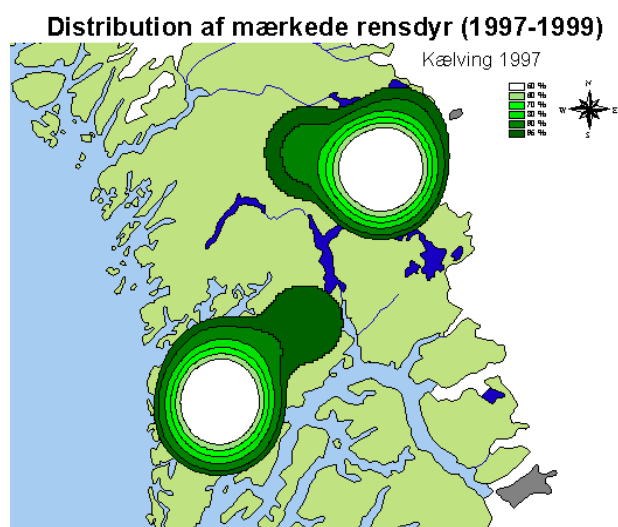
Følgende figurer viser "home ranges" for de satellitmærkede rensdyr fordelt på sæsoner.

Figur H.26 til Figur H.58 viser sæsonerne fra sen-vinter 1997 til midt-vinter 1999. Yderligere detaljer om antal af sensorer og lignende er beskrevet nærmere i afsnittet om vegetationsanalyse for mærkede rensdyr. De hvide felter angiver kerneområder indenfor hvilke 50% af positionerne ligger. Fra de lysegrønne områder til de mørkegrønne stiger andelen af positioner fra 60% til 95% af alle observationer.

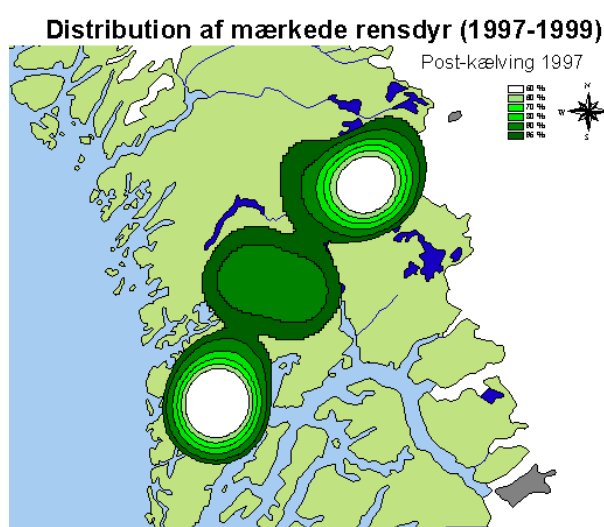
H.10.1 Nuuk (Region Central)



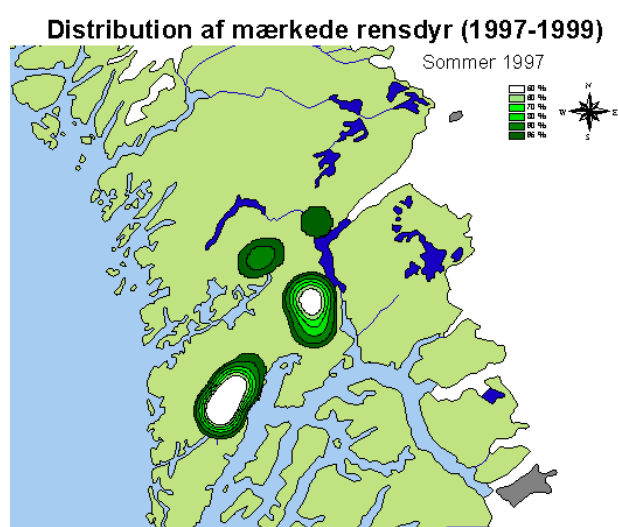
Figur H.26 Forårstræk 1997



Figur H.27 Kælvning 1997

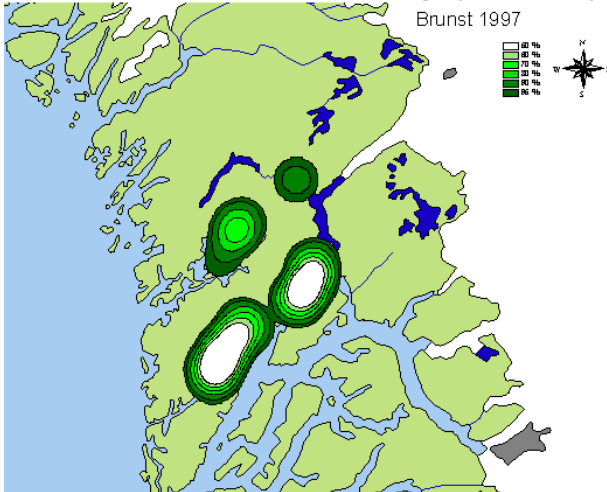


Figur H.28 Post-kælvning 1997



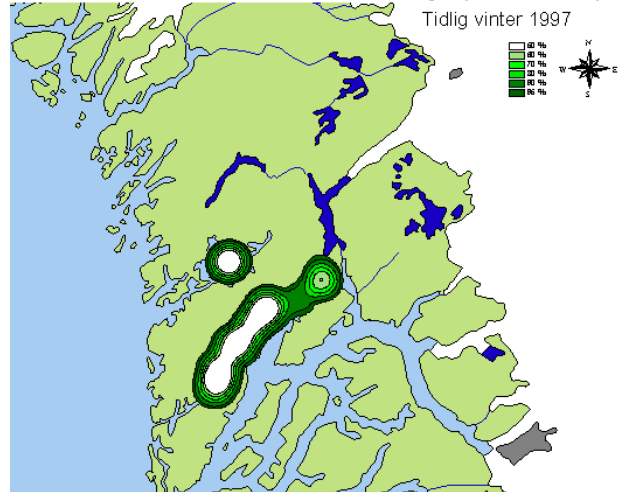
Figur H.29 Sommer 1997

Distribution af mærkede rensdyr (1997-1999)



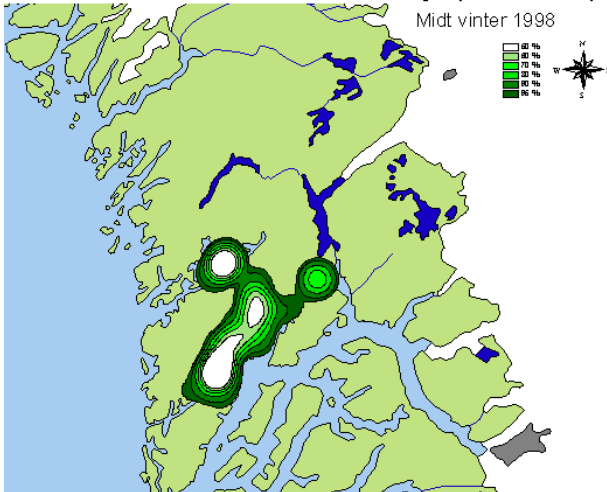
Figur H.30 Brunst 1997

Distribution af mærkede rensdyr (1997-1999)



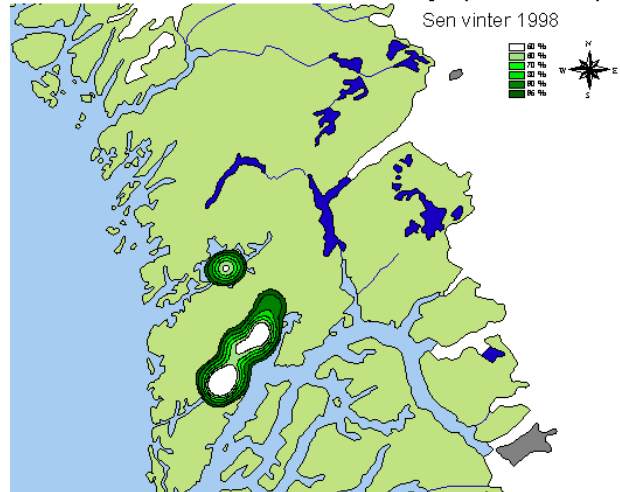
Figur H.31 Tidlig vinter 1997

Distribution af mærkede rensdyr (1997-1999)



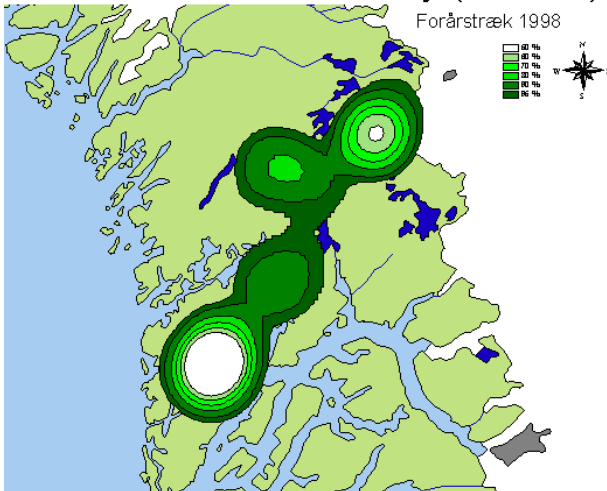
Figur H.32 Midt vinter 1998

Distribution af mærkede rensdyr (1997-1999)



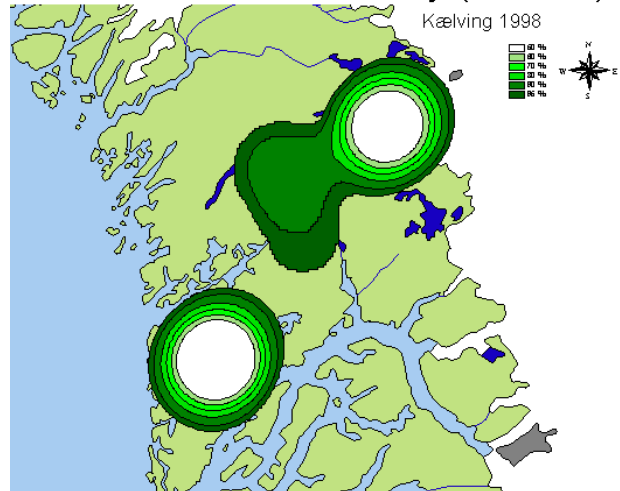
Figur H.33 Sen vinter 1998

Distribution af mærkede rensdyr (1997-1999)

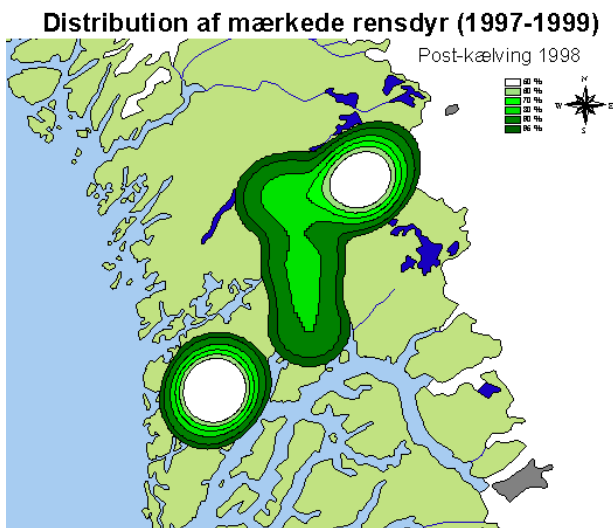


Figur H.34 Forårstræk 1998

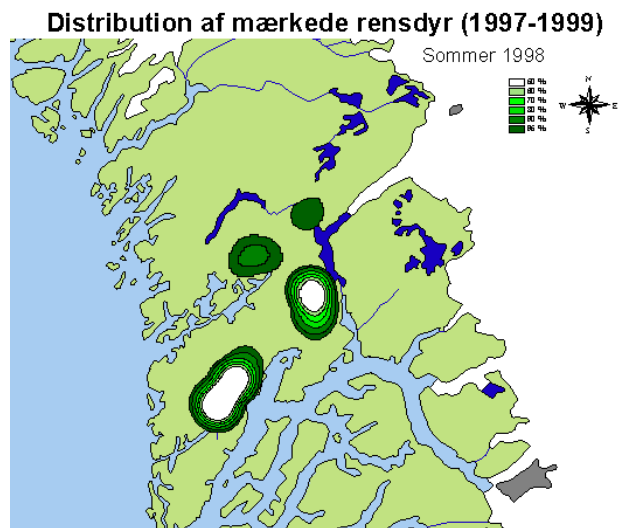
Distribution af mærkede rensdyr (1997-1999)



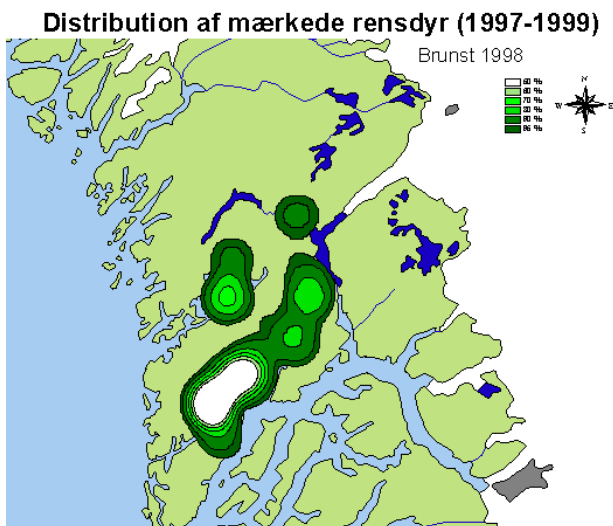
Figur H.35 Kælving 1998



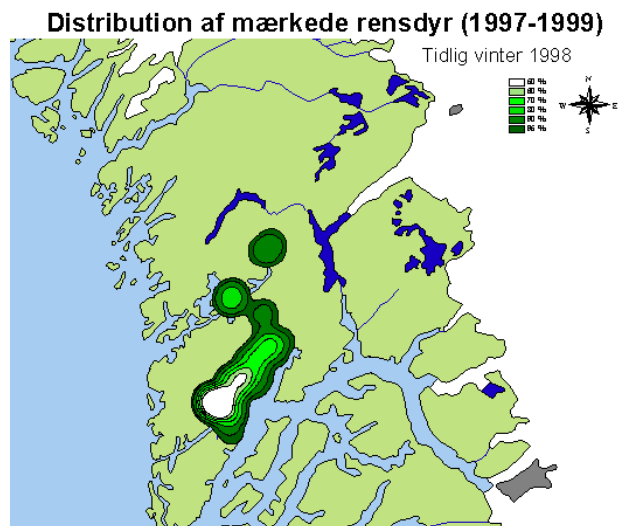
Figur H.36 *Post-kælvning 1998*



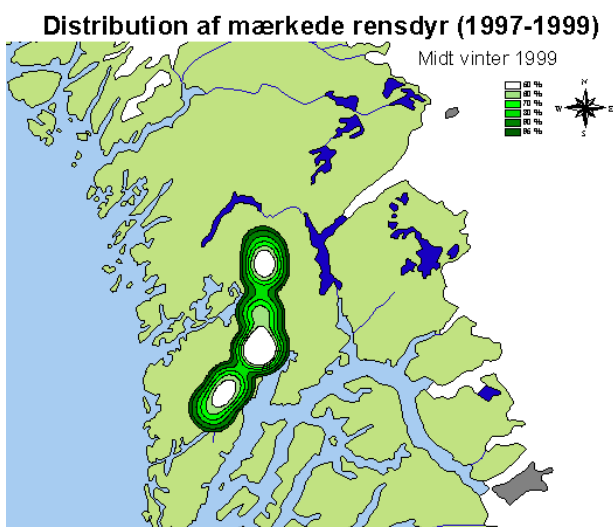
Figur H.37 *Sommer 1998*



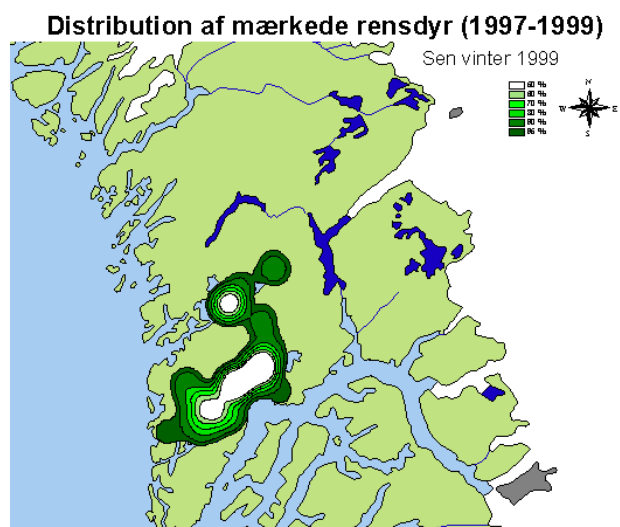
Figur H.38 *Brunst 1998*



Figur H.39 *Tidlig vinter 1998*



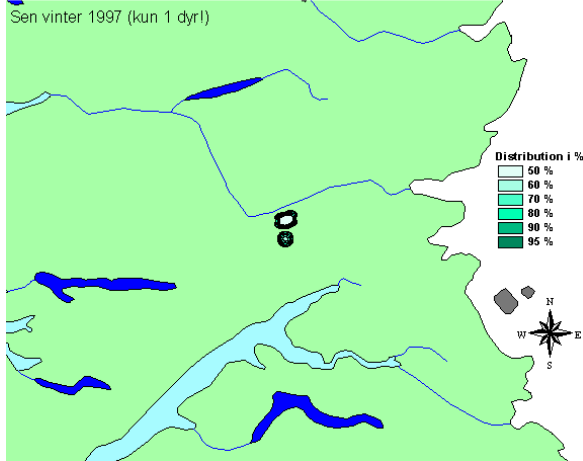
Figur H.40 *Midt vinter 1999*



Figur H.41 *Sen vinter 1999*

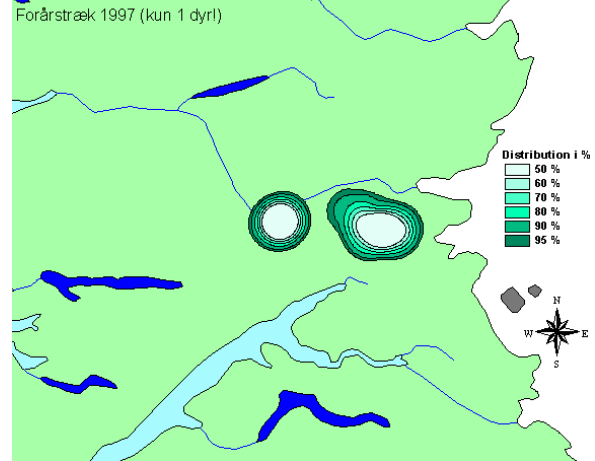
H.10.2 Kangerlussuaq (Region North)

Distribution af mærkede rensdyr (1997-1999)



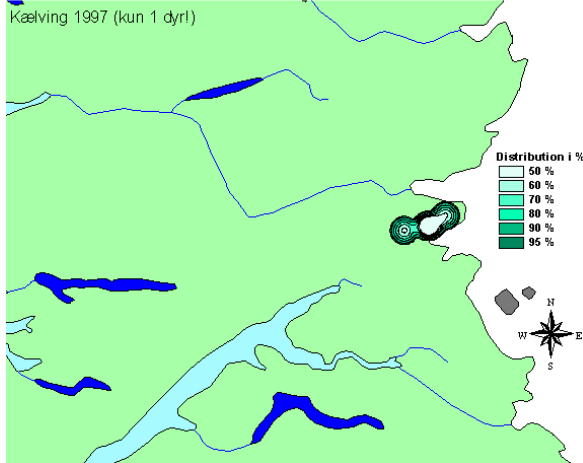
Figur H.42 Sen vinter 1997 (kun 1 dyr)

Distribution af mærkede rensdyr (1997-1999)



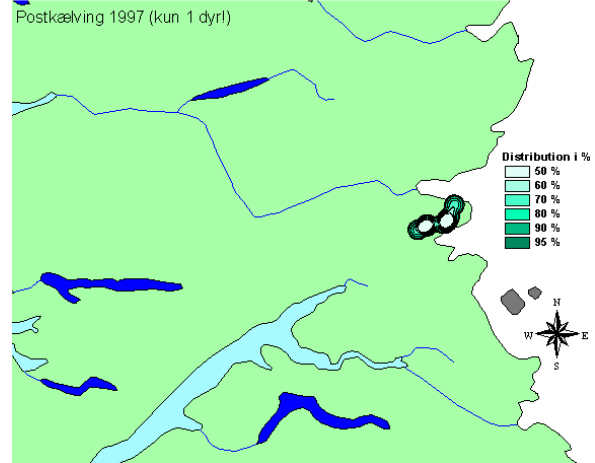
Figur H.43 Forårstræk 1997 (kun 1 dyr)

Distribution af mærkede rensdyr (1997-1999)



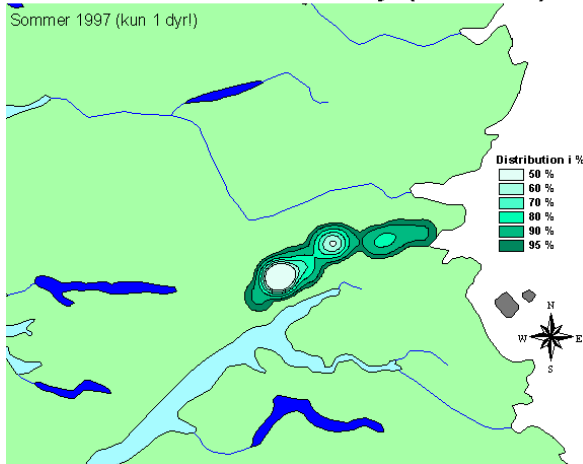
Figur H.44 Kælvning 1997 (kun 1 dyr)

Distribution af mærkede rensdyr (1997-1999)



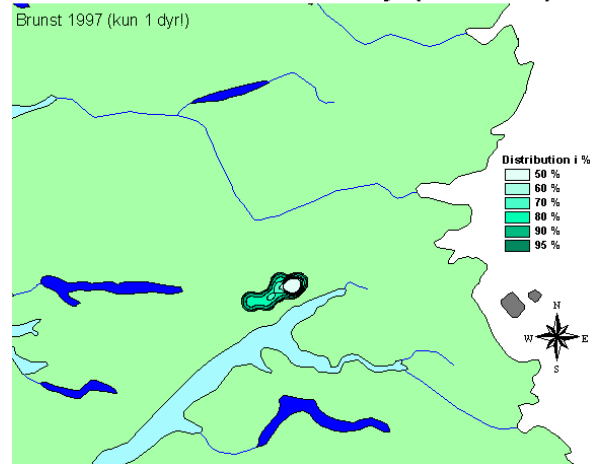
Figur H.45 Post-kælvning 1997 (kun 1 dyr)

Distribution af mærkede rensdyr (1997-1999)



Figur H.46 Sommer 1997 (kun 1 dyr)

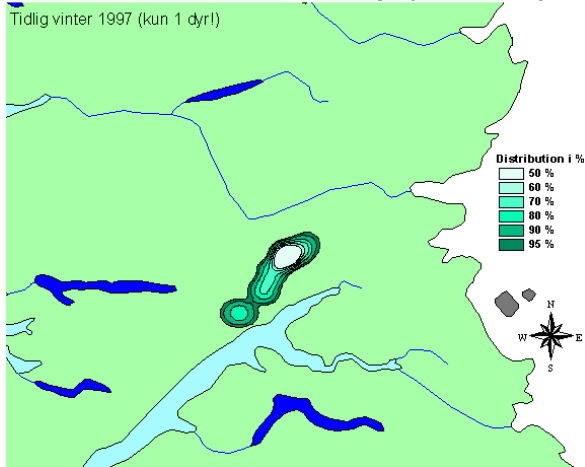
Distribution af mærkede rensdyr (1997-1999)



Figur H.47 Brunst 1997 (kun 1 dyr)

Distribution af mærkede rensdyr (1997-1999)

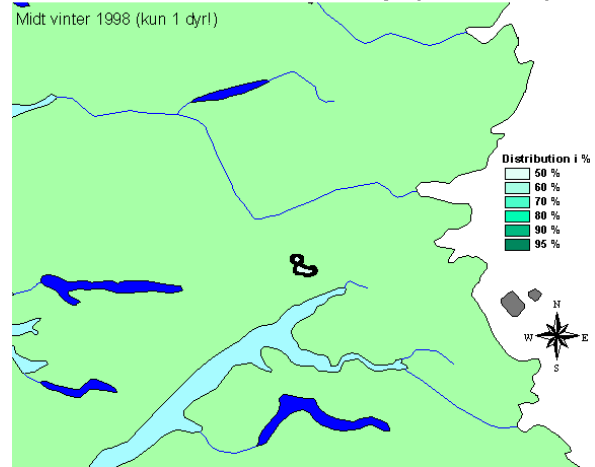
Tidlig vinter 1997 (kun 1 dyr)



Figur H.48 Tidlig vinter 1997 (kun 1 dyr)

Distribution af mærkede rensdyr (1997-1999)

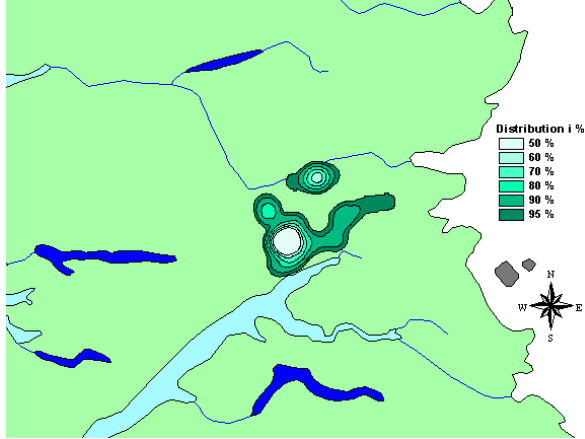
Midt vinter 1998 (kun 1 dyr)



Figur H.49 Midt vinter 1998 (kun 1 dyr)

Distribution af mærkede rensdyr (1997-1999)

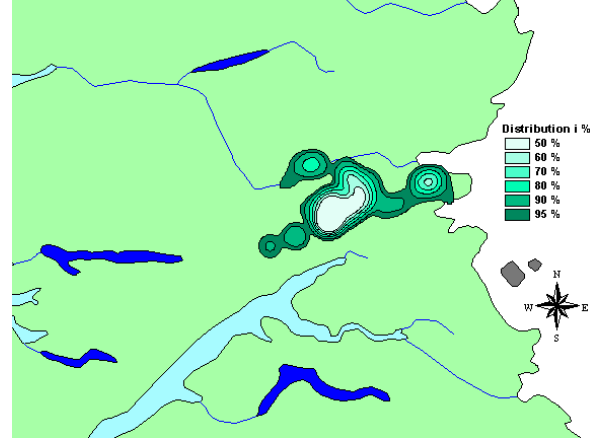
Sen vinter 1998



Figur H.50 Sen vinter 1998

Distribution af mærkede rensdyr (1997-1999)

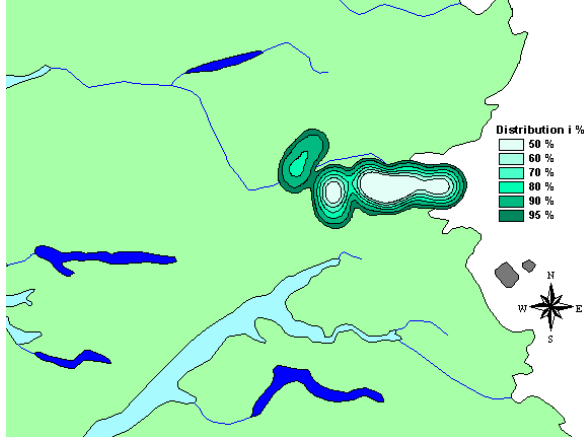
Forårstræk 1998



Figur H.51 Forårstræk 1998

Distribution af mærkede rensdyr (1997-1999)

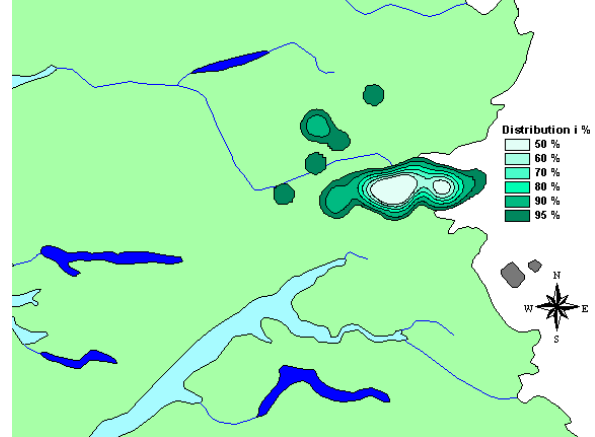
Kælving 1998



Figur H.52 Kælving 1998

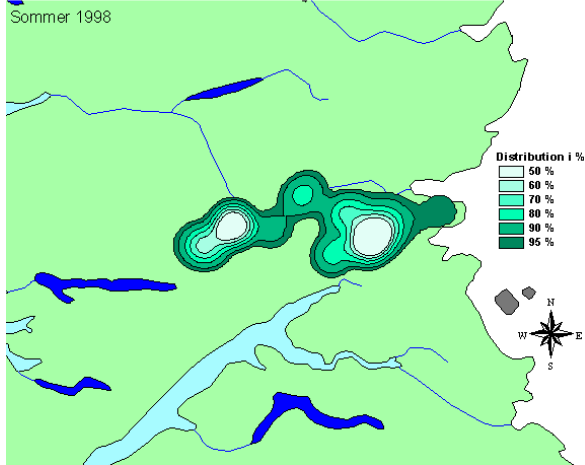
Distribution af mærkede rensdyr (1997-1999)

Postkælving 1998



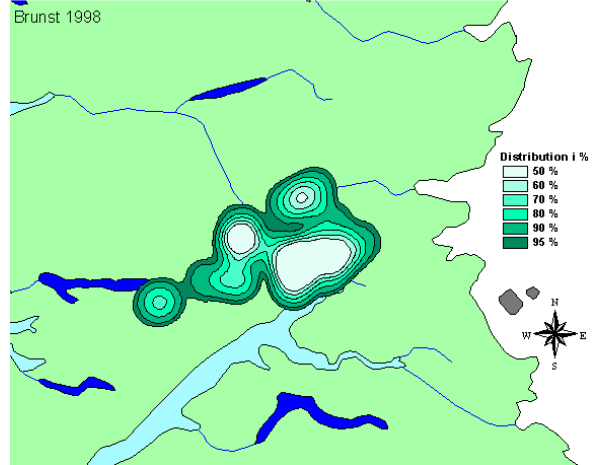
Figur H.53 Post-kælving 1998

Distribution af mærkede rensdyr (1997-1999)



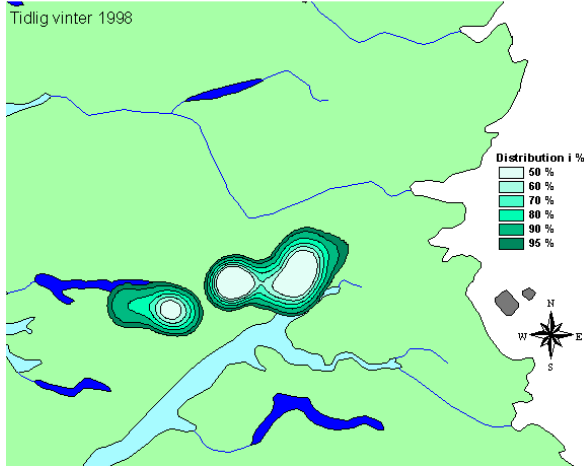
Figur H.54 Sommer 1998

Distribution af mærkede rensdyr (1997-1999)



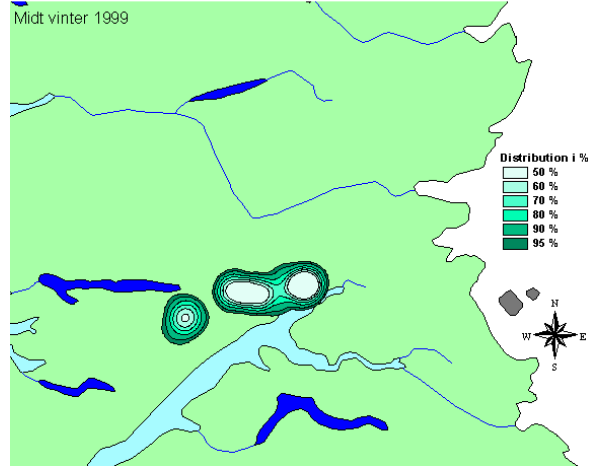
Figur H.55 Brunst 1998

Distribution af mærkede rensdyr (1997-1999)



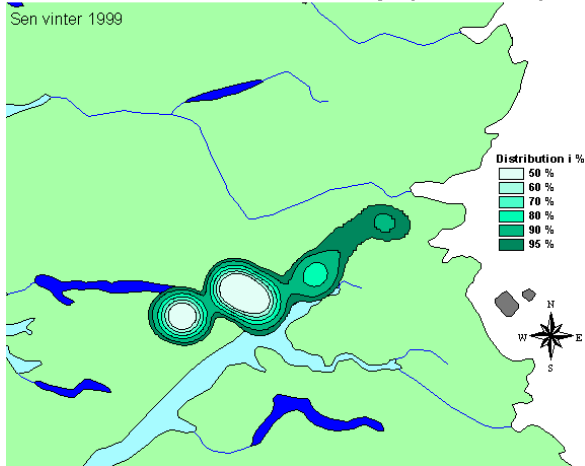
Figur H.56 Tidlig vinter 1998

Distribution af mærkede rensdyr (1997-1999)



Figur H.57 Midt vinter 1999

Distribution af mærkede rensdyr (1997-1999)



Figur H.58 Sen vinter 1999

Ved anvendelse af Landsat TM satellitbilleder er der foretaget vegetationskortlægning af tre områder i Vestgrønland. En omfattende usikkerhedsvurdering af kortlægningen er endvidere foretaget i de to områder omkring Kangerlussuaq og Nuuk. Modellering af snesmeltning og vækstsæson er foretaget på baggrund af NOAA AVHRR data fra perioden 1982-1998. Vegetationskortene er endvidere anvendt sammen med ARGOS positionsdata fra 15 rensdyr i Vestgrønland til at undersøge rensdyrenes vandringsmønstre og fødevalg. En data-CD med resultater og formidling af disse kan rekvireres fra forfatteren.

Miljø- og Energiministeriet
Danmarks Miljøundersøgelser

ISBN 87-7772-604-9
ISSN 0905-815x
ISSN (elektronisk) 1600-0048