

Kvantitative mål for rumlig struktur og diversitet: beregning ud fra jordobservationsdata og digitale kort, for anvendelse som indikatorer i planlægning og miljøforvaltning

Præsentation af teori og resultater fra Ph.D. afhandlingen "Spatial Metrics of Structure and Diversity: Calculation from Earth Observation and map data, for use as indicators in environmental management" udarbejdet ved Lancaster University 2000-2004.

Niels Chr. Nielsen, SDU-Esbjerg

Introduktion

I denne artikel gennemgås først baggrunden for og de vigtigste resultater og indsigter fra de studier, der førte mig frem til PhD. graden. Derefter refereres indholdet kapitel for kapitel, i en form for "læsevejledning" til afhandlingen, der ligger tilgængelig på projektets hjemmeside i den form hvor den blev afleveret til Lancaster University.

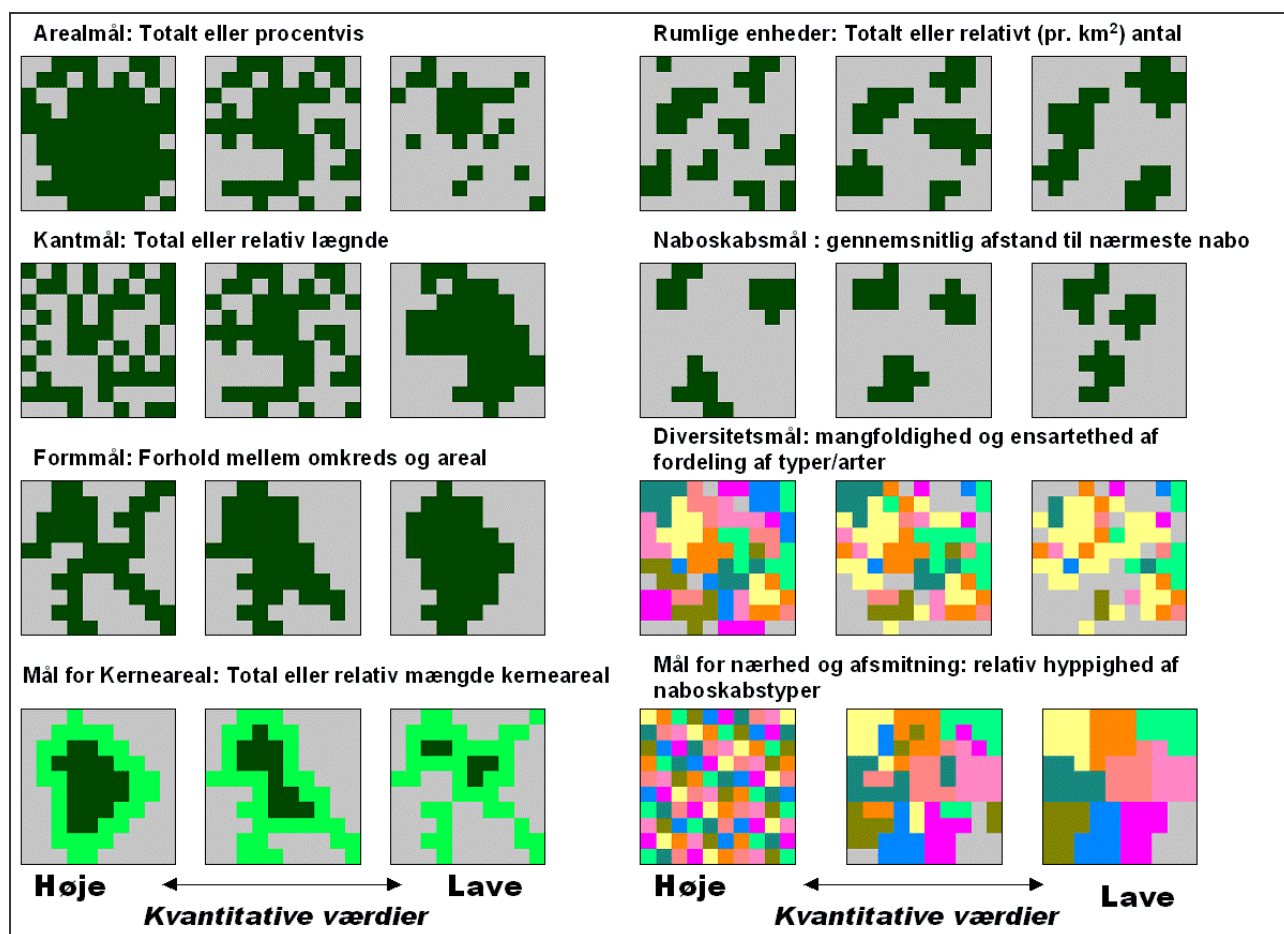
Baggrund

Landskabets form, som de fremtræder på landkort og ses på flyfotografier og satellitbilleder, er både et resultat af den måde vi anvender vores land på og bestemmede for stofstrømme og biologiske processer. Dette er en af hovedbudskaberne fra den naturhistoriske disciplin landskabsøkologi. I min afhandling har fokus været på udvikling af programmer til kvantitativ beskrivelse af landskabs-struktur ud fra både kort og satellit-billeder, især af skovenes form som elementer i landskabet. Resultaterne, der forventes at kunne bruges i natur-overvågning og forvaltning kommer både i form af kort, grafer og tabeller (regneark). Det er også muligt ad denne vej at analysere hvordan planlagte og forudsagte ændringer vil påvirke landskabet, f.eks. ved skovrejsning, naturgenopretning eller de løbende ændringer i landbrugets struktur, og komme med bud på konsekvenserne for dyre- og plantelivet.

Projektets målsætninger

Min afhandling tager udgangspunkt i en politisk målsætning om bevarelse og beskyttelse af biologisk diversitet (mangfoldighed) i Europa, specielt i skov og delvist trædækkede landskaber. Den umiddelbare opgave var at udpege en række indikatorer for både diversitet og bæredygtig skovdrift (arealanvendelse). Disse indikatorer skulle kunne udtrages fra satellitbilleder, helst uafhængigt af datakilden, og være så nemme og hurtige at beregne, at de kan anvendes over store områder og uden at trække for store vekslers på regnekraften i de computere, hvor data behandles og vises. En af hypoteserne bag mine undersøgelser var, at det vil være muligt at anvende nogle af de målestokke (herefter blot "mål") for rumlig form og struktur, som

er udviklet i landskabsøkologisk forskning gennem de sidste årtier, til at beskrive og ideelt også forudsige hvor indenfor et land eller en region der er den højste biologiske mangfoldighed. Dermed vil man have en række rumlige/sted-bestemte indikatorer til rådighed i planarbejdet og naturforvaltningen. En anden hypotese var, at det også vil være muligt at aflede matematiske udtryk for størrelsen af biodiversiteten og andre økologiske variabler, gennem statistisk analyse af de kvantitative mål for landskabsstruktur. Disse mål beregnes ud fra kort-data, typisk i Geografiske Informationssystemer (GIS), og at det er teknisk muligt viser en lang række af artikler og afhandlinger fra det sidste tiår, hvoraf et lille udvalg bringes i litteraturlisten til denne artikel.



Figur 1 Eksempler på udsnit af fiktive landskaber med forskellige værdier af de otte væsentligste typer (kvantitative) rumlige strukturmål..

Resultater fra projektet

I afhandlingen beskrives og implementeres nye tilgange til beregning og formidling af kvantitative mål for landskabers struktur. Det er lykkedes at anvende billedanalyse med bevægeligt fokus (moving-windows), på en måde så det var muligt både at beregne værdier for landskabs-struktur henover studieområderne, grafisk at vise og statistisk at analysere regionale forskelle. Samtidig vises det, at rumlig strukturmål har potentialet

til at bruges som indikatorer for udviklingen i landskabers struktur og diversitet.

Undervejs er det blevet bekræftet at visse, men ikke alle rumlige struktur mål, kan bruges til at kvantificere fragmentering i landskabet. Derimod viser det sig at mål for antallet af elementer (f.eks. skove, marker, søer) i landskabet afhænger meget af den skala som kortet eller billedet er fremstillet i, og de skal derfor anvendes med forsigtighed, og at form-målet SqP^1 anghænger af den vindues-størrelse der bruges ved beregningerne. Præcis hvilke struktur mål, der skal bruges ved konkrete problemstillinger vil afhænge af hvilke emner/temaer der ønskes beskrevet eller overvåget for det pågældende landskab, skov eller naturområde (f.eks. nationalpark). Resultaterne fra tilgangen med et bevægeligt fokus kunne uden besvær bruges i georefereret billedformat og kombineres med data fra andre kilder som f.eks. feltobservationer og kartering med opsamling af GPS-punkter, ved hjælp af standard GIS-programmel.

Som eksempel på en mulig anvendelse af de beskrevne metoder blev der udarbejdet fire forskellige scenarier for skovrejsningen i Vendsyssel, ud fra fire forskellige strategier for arealanvendelsen. Der kunne laves kort, som viser ændringerne i udvalgte struktur mål, og disse illustrerer godt virkningerne af de forskellige tilgange, og peger på områder hvor der kan opstå konflikter mellem forskellige interesser - f.eks. hvor mindre fragmenteret skov vil medføre en lavere diversitet af landskabstyper.

Hemerobi-begrebet, der bedst kan oversættes ved kulturpåvirkning - modsat naturlighed - er her blevet kvantificeret ved tildeling af et "natur degraderings potentiale" til arealdækkeklasseerne i de forskellige korttyper. Den rumlige dimension tilføjes ved anvendelse af bevægeligt fokus så der kan skabes Hemerobi- eller naturlighedskort. Disse viser sig at kunne give et nyttigt overblik over arealanvendelses intensiteten - med mulighed for anvendelse i miljøforvaltning og -planlægning på landskabsniveau.

En åbenlyst begrænsende faktor for brugen af rumlige struktur mål (specielt af landskabers struktur) er kvaliteten af de data som beregningerne må bygge på, det være sig eksisterende kort eller satellit billeder. Før der kan foretages meningsfulde beskrivelser og sammenligninger af skov- og natur-diversitet vil der ofte være brug for en bedre tematisk opløsning en hvad der normalt er tilgængeligt fra arealdække og arealanvendelsesdata. På den anden side viste det sig at "binære" kort over skovens fordeling i landskabet udgør et tilstrækkeligt grundlag til analyse af fragmentering. I de studier som denne afhandling bygger på har det ikke været muligt at opstille matematiske/statistiske sammenhænge mellem struktur mål og biodiversiteten (i de enkelte geografiske vinduer). Dette skyldes især mangelen på referencedata og geo-

¹ Står for "Square Patch metric", og betegner afvigelsen af den simple kvadratiske form at elementerne i et område (vindue).

refererede biologiske data. Når først sådanne data bliver tilgængelige, ideelt set opført som værdier i kvadratnet, så bør det være muligt at sammenkæde f.eks. artsrigdom og et eller flere rumlige strukturmål ud fra analyser med bevægeligt fokus.

I beregningen af mål for landskabsstruktur benyttes der som regel værdier for absolut eller relativ kantlængde mellem forskellige arealklasser. Strukturmålene afhænger således af kant- og grænseeffekter, især på kanten af kort og billeder og der hvor forskellige datakilder er sat sammen. Undervejs fandt jeg det også nødvendigt at skelne mellem interne og eksterne ”baggrundsklasser”, hvor sidstnævnte helt blev ignoreret i beregningen af strukturmålene. Det var specielt nødvendigt for at undgå virkningerne store geografiske vinduer som inkluderer relativt store havområder - noget der kan give kunstigt store kant-effekter og tilsyneladende lavere skovdække med voksende vinduesstørrelse. Det er dog stadig påkrævet med udviklingsarbejde for helt at undgå sådanne mulige fejlkilder og kunne skabe strukturmål og kort der er (mere) uafhængige af skala og typen af input-data.

Videre arbejde, fremtidsperspektiver

De metoder som bliver beskrevet i afhandlingen kan uden større besvær integres i et generelt land-klassifikations system, sammen med f.eks. oplysninger og kutlur(arv) og socio-økonomiske faktorer. Sådanne systemer og databaser kan der være brug for ved miljøsprøgsmaal i forbindelse med administration af landbrugs strukturudvikling, planlægning af skovrejsning eller naturbeskyttelse. I sådanne systemer og GIS-analyser kan resulterne fra analyser med bevægeligt fokus bruges direkte som nye geo-refererede informationslag, der hver især viser forskellige aspekter af landskabets stuktur. Det er også sådan man efter min mening bedst integrerer strukturmål og Hemerobi(indeks) værdier. Når og hvis man kombinerer strukturmål med data fra økologisk feltarbejde er der brug for mere avancerede statistiske metoder end de regressioner der er foretaget i denne afhandling - især hvis målet er at knytte sturkturmålene (af forskellig skala, byggende på datakilder med forskellig rumlig opløsning) til et rumligt hierarki af henholdsvis Alfa-, Beta- og Gamma-diversitet. Sammenstillingen af de beregnede strukturmål med biologiske observationer og indices vil også kunne medvirke til at definere nogle tærskelværdier af sturkturmål, der kan bruges som rettesnor i den fysiske planlægning og ved vurdering af alternative mulige scenarier.

Kvantitative mål for skoves struktur kan bruges til vudering af hvorvidt et land lever op til forpligtelserne i internationale aftaler, f.eks. konventioner og bæredygtigt skovbrug eller den europæiske landskabs-konvention. Hvis strukturmål skal anvendes operationelt i denne proces kræves det dog at den forudgående billedbehandling standardiseres med hensyn til (blandt mange andre ting) rumlig opløsning og kvaliteten af input datene, de anvendte klassifikationsmetoder og hvilken verifikation resultaterne er underlagt i form af feltinspektion eller krydsreference med f.eks. flyfotografi.

I de studier som afhandlingen bygger på er der blevet brugt raster-billeder til at repræsentere virkelighedens landskaber. Det er gjort ud fra antagelsen om, at biodiversitet og forskellige økologiske funktioner kan relateres til landskabsstruktur som den fremtræder i arealdække- og arealanvendelseskort. Der vil imidlertid stadig være brug for at modellere enkelte arters opførselsmønstre og reaktioner på ændringer i strukturen af skove og landskaber. Dette kan konkret ske med rumligt explicitte meta-populationsmodeller, gerne i kombination med simulerede arealdækkkort, der f.eks. bruger strukturelt neutrale modeller til at danne serier af realistiske "landkort" som baggrund for forskellige scenarier. Kombinationen af neutrale landskaber med kendte (på forhånd valgte) værdier for rumlige strukturmål og populationsmodeller kan hjælpe os videre i opstillingen af matematiske sammenhænge mellem økologiske teorier og anvendt landskabsøkologi. Desuden kan man ved at gennemføre sådanne øvelser ved varierende rumlig opløsning, evt. svarende til typiske sensor-typer og formater for jordobservationsdata, klarlægge de enkelte strukturmål følsomhed for skalerings effekter og derigennem minimere de fejl som ellers af den vej opstår i processen fra billede over kort til strukturmål.

Den fjerde dimension i landskabet, nemlig tiden og udviklingsforløb er kun indeholdt i disse studier i mindre omfang, ved analyser af scenarier for skovrejsning i kapitel 6. Der ses imidlertid et stort potentiale for analyser af landskabsændringer ved sammenligninger mellem historiske kort, ældre jordobservationsdata i form af flyfotografier tilbage fra første halvdel af det 20. årh. og satellitbilleder, der findes tilbage fra 1972. Sammenhængen mellem ændret arealanvendelse og udviklingen i landskabets struktur forbliver et spændende forskningsfelt, som på forskellig vis er blevet angrebet i Kulturmiljøatlas-projektet. Her har det været en central opgave at identificere områder med en særlig rumlig struktur, der repræsenterer produktionsmåder og arealanvendelses-strategier i såvel fortidens som nutidens landskaber. Til at danne grundlag for sådanne analyser er målebordsblade og topografiske kort over studieområderne i Vendsyssel fra 19. og 20 årh. blevet digitaliseret og tolket med hensyn til arealdække - under anvendelse af standardiserede signaturer. Et af de næste skridt i projektet omfatter beregning af relevante rumlige strukturmål, gerne suppleret med Hemerobi-indices fra den nutidige arealanvendelse. Dette vil muliggøre en kvantitativ beskrivelse af landskabsændringer og gøre det lettere at identificere regionale forskelle.

Studierne bag denne afhandling har gjort det muligt at pege på både styrker, svagheder og begrænsninger i anvendelse af rumlige strukturmål på landskabsniveau. Erfaringerne herfra kan fremover hjælpe ved udvælgelsen af data og specifikke strukturmål i overvågningsprogrammer som de der er beskrevet i kapitel 2 (hvorfra Figur 8 og Figur 9, herunder, stammer) og som diskuteres i forbindelse med både NOVANA² i

² Nationalt Overvågningsprogram for VAndmiljø og NATur (se f.eks. www.dmu.dk/Overvaegning/NOVANA/)

Danmark, EUNIS³ og MCPFE⁴-processerne på europæisk plan. Resultater i form af tematiske kort fra analyser med bevægeligt fokus kan kombineres med GIS-data i vektorformat og således danne grundlag for vurderinger af virkninger på miljøet af faktiske og planlagte ændringer/indgreb i landskabet. De eksempler fra forskellige studier, som er beskrevet i afhandlingens kapitler, har vist at de enkelte skridt der er opstillet grafisk i Figur 9 giver god mening. Dog vil valget af datakilder, klassifikations-metoder og den gruppe af rumlige strukturmål der skal bruges i sidste ende afhænge af formålet med det aktuelle projekt eller overvågningstiltag.

Afhandlingens kapitler

I afhandlingen gennemgås derfor i et omfattende literaturstudium både a) brugen af begreberne bæredygtighed og biodiversitet i miljøpolitik generelt b) brugen af landskabsøkologiske termer ved overvågning og kortlægning af skove og natur i det hele taget c) rumlige tilgange til beskrivelser og analyser af diversitet på landskabs- og regionalt niveau. Denne gennemgang efterfølges af en diskussion af hvordan man specielt kan kvantificere og kortlægge *fragmentering*, forstået som både en fremadskridende (destruktiv) proces og som en parameter for landskabers struktur.

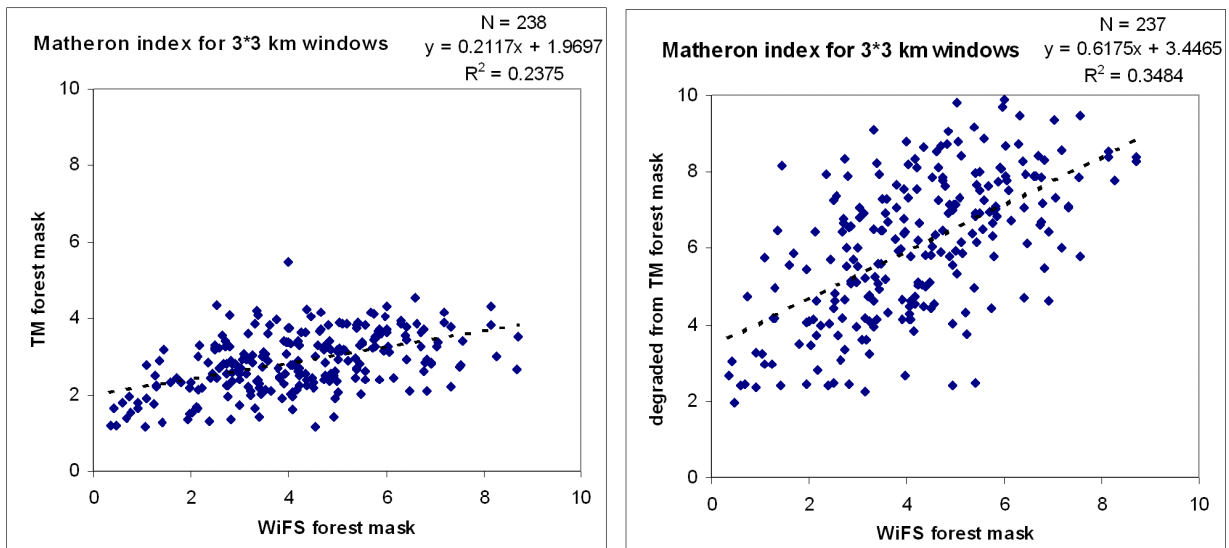
I det først empiriske eksempel ses der netop på kvantificering af fragmentering af skove, med anvendelse af to typer af satellitbilleder fra Umbrien i Midtitalien. Der kunne laves brugbare skov-kort ud fra GIS-information som den regionale skov-forvaltning stillede til rådighed såvel som fra satellitbilleder af høj og middel rumlig opløsning, hhv. Landsat-TM og IRS-WiFS. Sidstnævnte var blevet udfærdiget af FMERS-projektet⁵. Skaleringseffektens indvirkning på målene for fragmentering blev undersøgt ved gradvis at ændre den rumlige opløsning af det GIS-baserede skov-kort, og de værdier som den opstillede model forudsagde sammenlignet med værdierne fra de to typer af satellitdata. Der vurderes derfor at være en realistisk mulighed for at ekstrapolere værdier for fragmentering til større områder ved hjælp af satellit-baserede skov-

³ European Nature Information System (se eunis.eea.eu.int)

⁴ Ministerial Conference for Protection of Forests in Europe (se www.mcpfe.org)

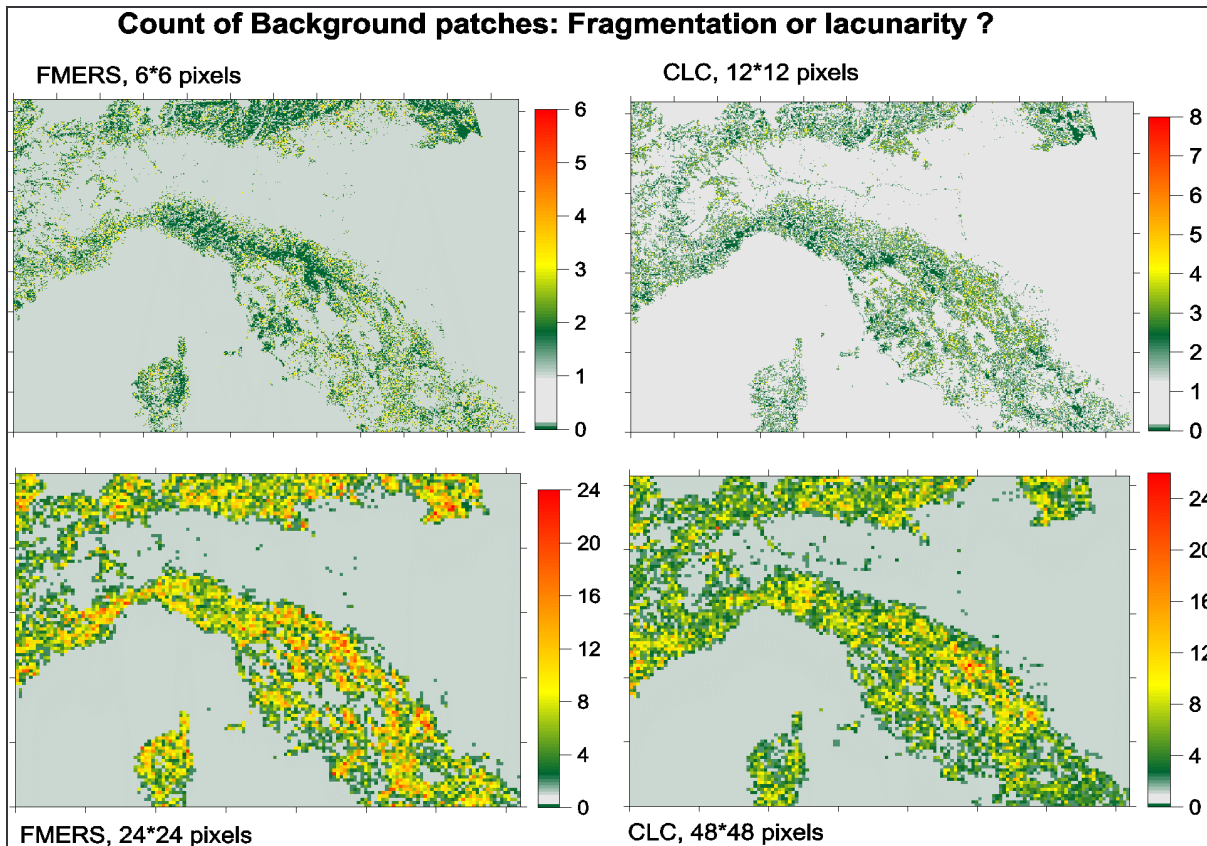
⁵ Se projekthjemmesiden <http://www.vtt.fi/tte/research/tte1/tte14/proj/fimers/> og læs den afsluttende rapport hvor det anvendte kort er beskrevet på http://www.vtt.fi/tte/research/tte1/tte14/proj/fimers/final/fimers_executi.htm.

kort med middel eller lav rumlig opløsning (svarende til forholdsvis lille kort- skala).



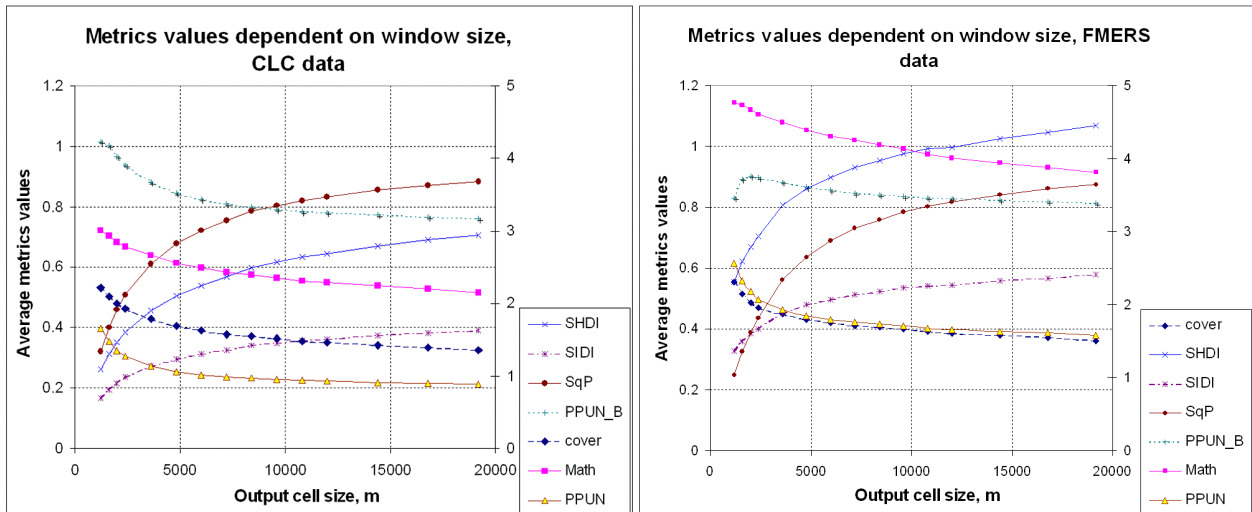
Figur 2 Sammenhæng mellem sturkturmål fra forskellige typer af jordobservationsdata og skaleringseffekt. Til venstre Matheron-indeksværdier (M) beregnet ud fra WiFS data med pixelstørrelse 200 meter plottet mod værdier beregnet ud fra Landsat TM data. Til højre ses M beregnet ud fra WiFS data plottet mod M beregnet ud fra Landsat TM data der forinden er blevet komprimeret til en pixelstørrelse på 200 meter. Det ses at der er bedre overensstemmelse mellem værdierne når vinduet hvori indeksværdierne beregnes er ens, sammenlign Figur 3.

I det følgende eksempel, som er beskrevet i kapitel 4, var formålet at beskrive skoves udbredelse, form og diversitet over større områder, ved hjælp af både kort, tabeller og grafer, der opsummerer rumlig struktur. Denne gang med hele Midt- og Norditalien samt tilgrænsende landområder som studieområde. Der blev brugt eksisterende arealdække/arealanvendelsesdata fra Corine Land Cover (CLC) databasen og til sammenligning et satellitbillede (WiFS) baseret skov-kort. Nu blev der ud over fragmentering også set på mål for skovareal og diversitet. En metode med bevægeligt fokus blev implementeret, d.v.s. beregninger inden for et geografisk vindue, der bevæges hen over kortet eller billedet, med resultater i form af enten tematiske kort (med de ovennævnte strukturmål som temaer) eller i regnearksformat til brug for udtræk af kvantitative værdier og statistiske analyser.

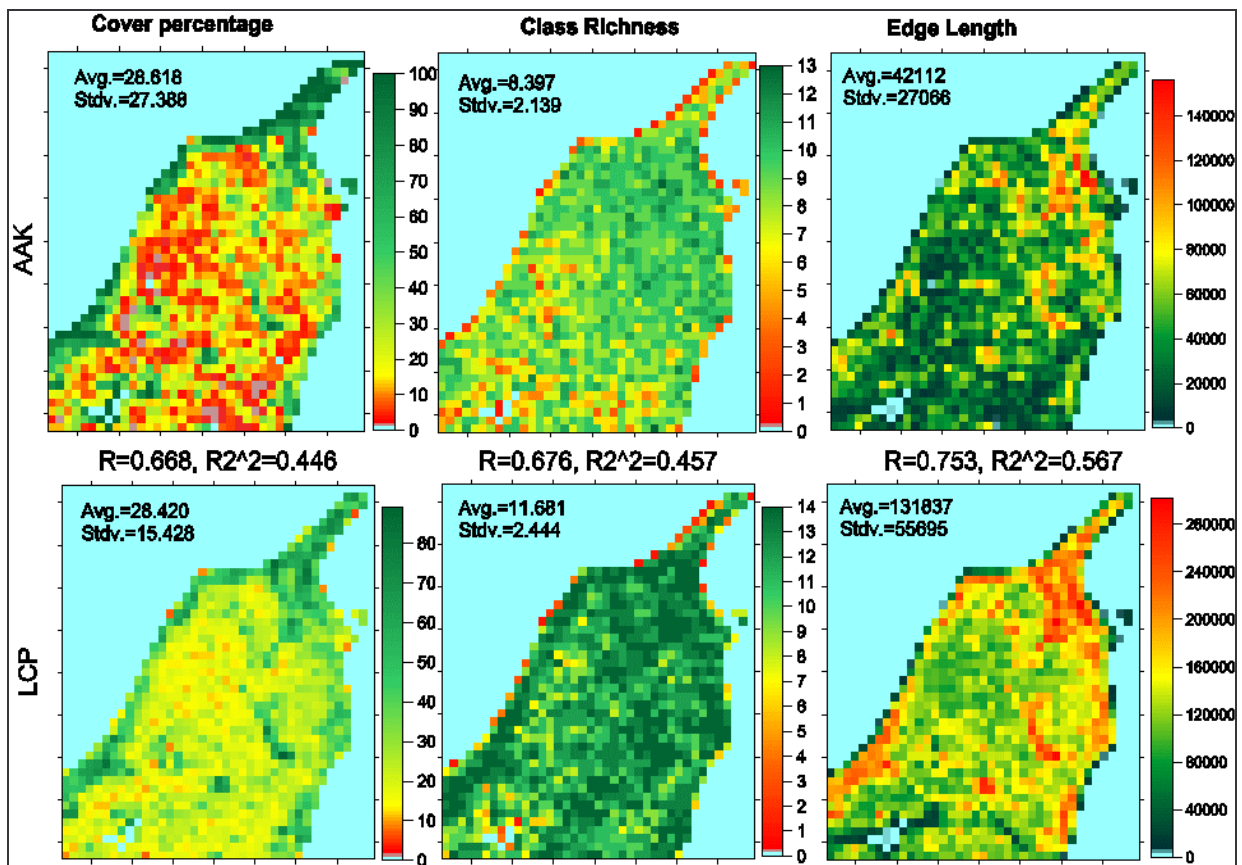


Figur 3 Antallet af landskabelementer tilhørende klassen "baggrund" anvendt som mulig indikator for landskabsfragmentering. De afledte kort i figuren viser antallet af sammenhængende baggrundsarealer omgivet af skov (altså lysninger/åbninger) i henholdsvis FMERS WiFS og CLC data. I billederne for oven er den resulterende opløsning 1200m, for neden er den 4800, hvilket synes at give et bedre overblik over hvor i regionen skovdækket er mest fragmenteret. De her viste oversigtskort er fremstillet i programmet Surfer, hvor tekstfiler fra beregningerne oversættes til billedformat.

Skalogram-kurver, som vist i Figur 4 blev brugt til at beskrive skalerings-effekter for hver af de to inputtyper. Resultaterne fra beregningerne med bevægeligt fokus blev også analyseret på regionale administrative niveauer og for nedbørsområder (vandskel), hvilket gjorde det muligt at angive sturkturmålene på forskellige hierarkiske niveauer. I kapitlet bliver der desuden forslået og afprøvet en (skov) koncentrations-profil, som muliggør en beskrivelse på mange niveauer af spredning/sammenhæng af en bestemt arealtype indenfor et område.



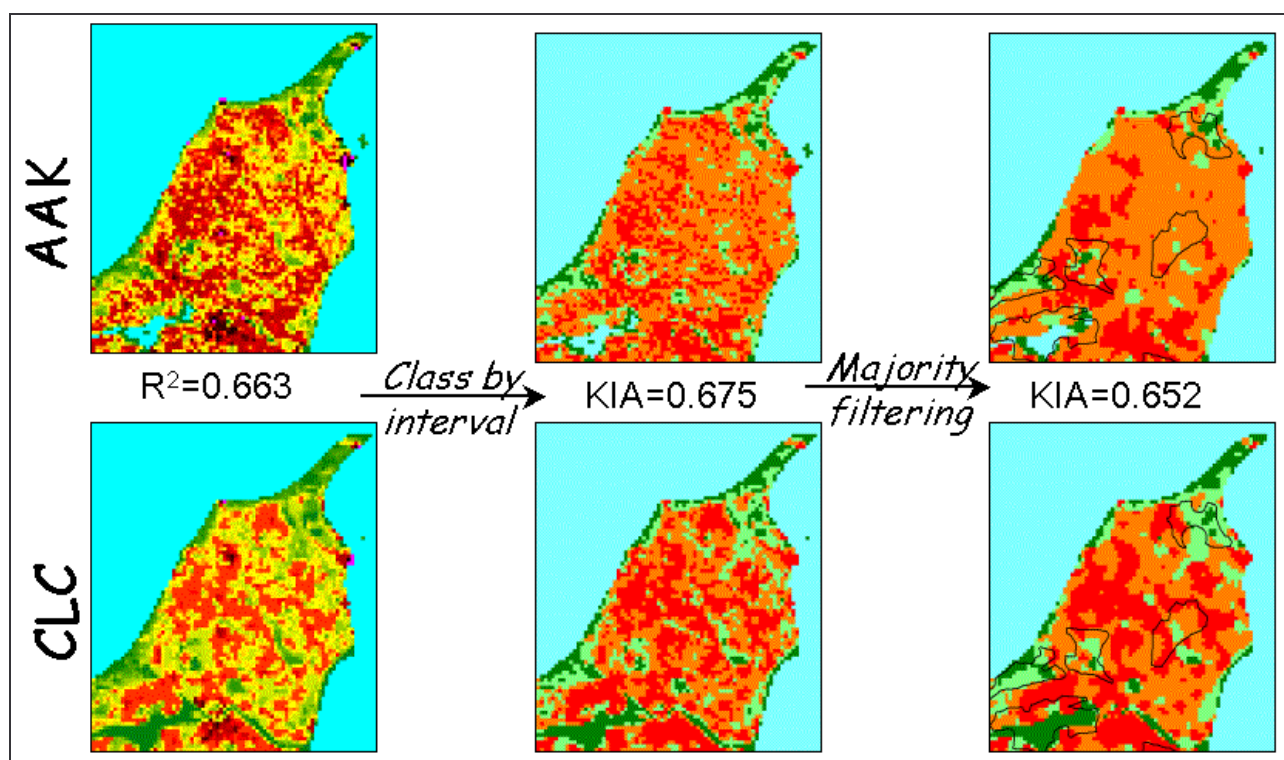
Figur 4 Her ses forskellige strukturmåls 'responskurver' til ændringer i viduesstørrelse, d.v.s. for hvor stort et udsnit af skovkoret der beregnes, jfr. Figur 2. Der er tale om gennemsnitsværdier for hhv. CLC og FMERS data for hele studiområdet - dog kun for de vinduer hvor der fandtes over 1% skovdække. Bemærk at værdierne for målene M og PPUN_B (antallet af baggrundsarealer) vises på grafernes 2.akse.



Figur 5 Eksempler på parvis sammenligning af kort over rumlige strukturmål fra forskellige datakilder, her AAK og LCP med en tematisk opløsning der fokuserer på naturtyper og med vinduesstørrelse 2km brugt i beregningerne.

I afhandlingens kapitel 5 præsenteres resultaterne fra en undersøgelse med forskellige datasæt som dækker Vendsyssel. Her er fokus flyttet over på anvendelsen af rumlige strukturmål til beskrivelse af landskabers struktur og diversitet, specielt med henblik på vurdering af graden af naturlighed og forstyrrelse. De rumlige

strukturmål fra kort med forskellig tematisk opløsning blev sammenlignet, for at vurdere deres følsomhed over for ændringer i såvel rumlig som tematisk opløsning. Data omfattede både vektor- og rasterbaserede kort fra Areal Informations Systemet (AIS)⁶. I vektorformat haves Arealanvendelseskortet (AAK), der bygger på matrikel- og topografiske datasæt, kombineret med naturoplysninger fra amterne og fra satellitbilleder, i rasterformat med 25m pixelstørrelse haves arealdækket kortene Land Cover Map (LCM) og Land Cover Plus (LCP) baseret på Landsat TM billeder. Ændret rumlig opløsning viser sig at have en stærk indflydelse på (målene for) antallet af sammenhængende rumlige enheder (patches) - med en uforudsigelig, ikke-lineær relation til pixelstørrelse; derimod ændrer målene for fragmentering sig lineært med pixelstørrelsen, og målene for areal og diversitet ændrer sig kun ganske lidt. Korrelationskoefficienter for sammenhængen mellem værdier af strukturmål fra de forskellige datakilder viste sig at ændres markant ved anvendelse af forskellige vinduesstørrelser i beregningerne.

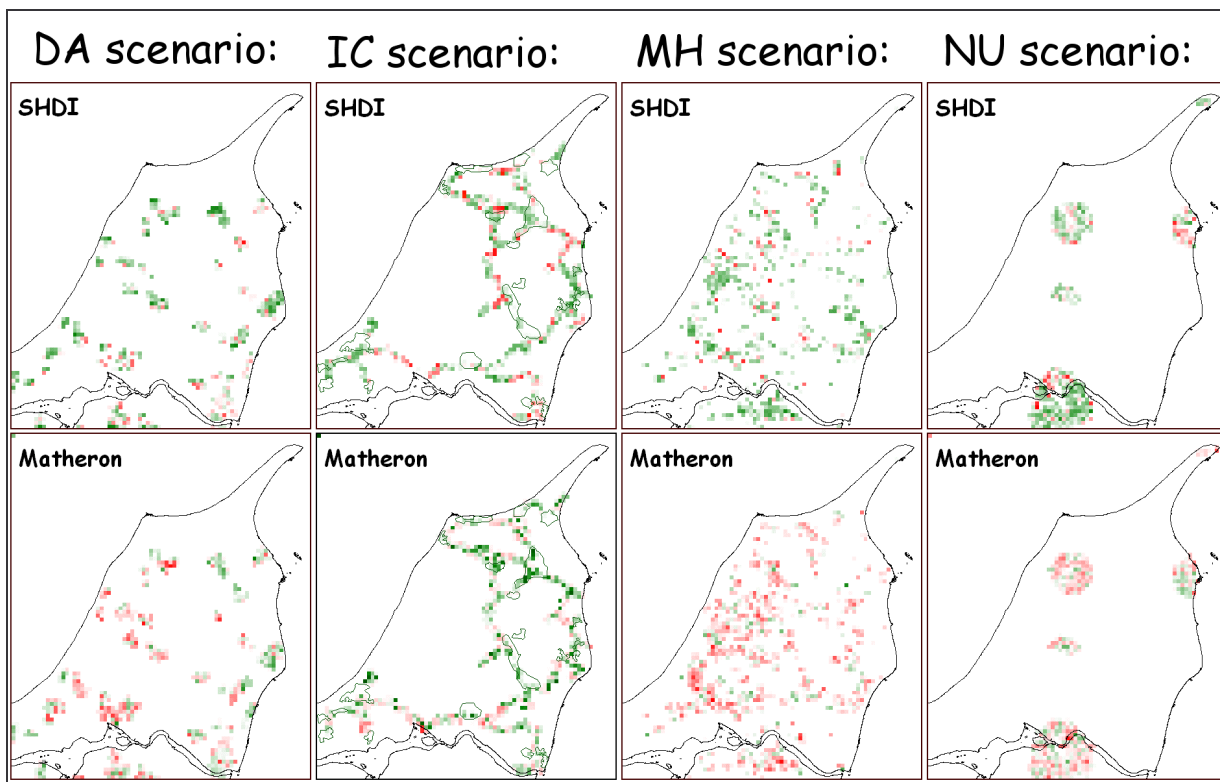


Figur 6 Forskellige tilgange til udarbejdelsen af et Hemerobi-kort over det nordligste Jylland, ud fra henholdsvis Arealanvendelseskortet fra AIS (transformeret til rasterformat med 25m pixels) og CLC data (250m pixels), ved beregning af gennemsnitsværdier i 1*1 km vinduer. Til højre er indsat vektorfiler som viser placeringen af større uforstyrrede landskaber iflg. regionplanen fra Nordjyllands Amt.

Til sidst i kapitlet introduceres et rumligt indeks for Hemerobi, der er defineret som graden af menneskelig påvirkning i forhold til et naturligt/uforstyrret landskab. Arealanvendelsesklasser tildeles en NDP værdi (Nature Degradation Potential) efter deres skønnede miljøbelastning, hvorpå disse integreres rumlig til et

⁶ http://www2.dmu.dk/1_viden/2_miljoe-tilstand/3_samfund/ais/index.htm

Hemrobi-indeks: H. Værdier for H blev beregnet ud fra AIS arealanvendelsesdata med 25m pixelstørrelse og sammenlignet med værdier beregnet ud fra CLC data med 250m pixelstørrelse. Der viste sig at være høj korrelation mellem H-værdierne for de to datasæt, jo større desto større de vinduer der bruges ved beregningen. Disse resultater taler for at det er muligt at lave og anvende Hemerobi-kort over større områder, også omfattende flere europæiske lande, baseret på CLC data.



Figur 7 Et resultat fra afhandlingens kapitel 6, opsummering af ændringer i strukturmål ved fuld implementering af forskellige scenarier. Røde farver indikerer faldende divesitet (SHDI) og øget fragmentering (Matheron indekset).

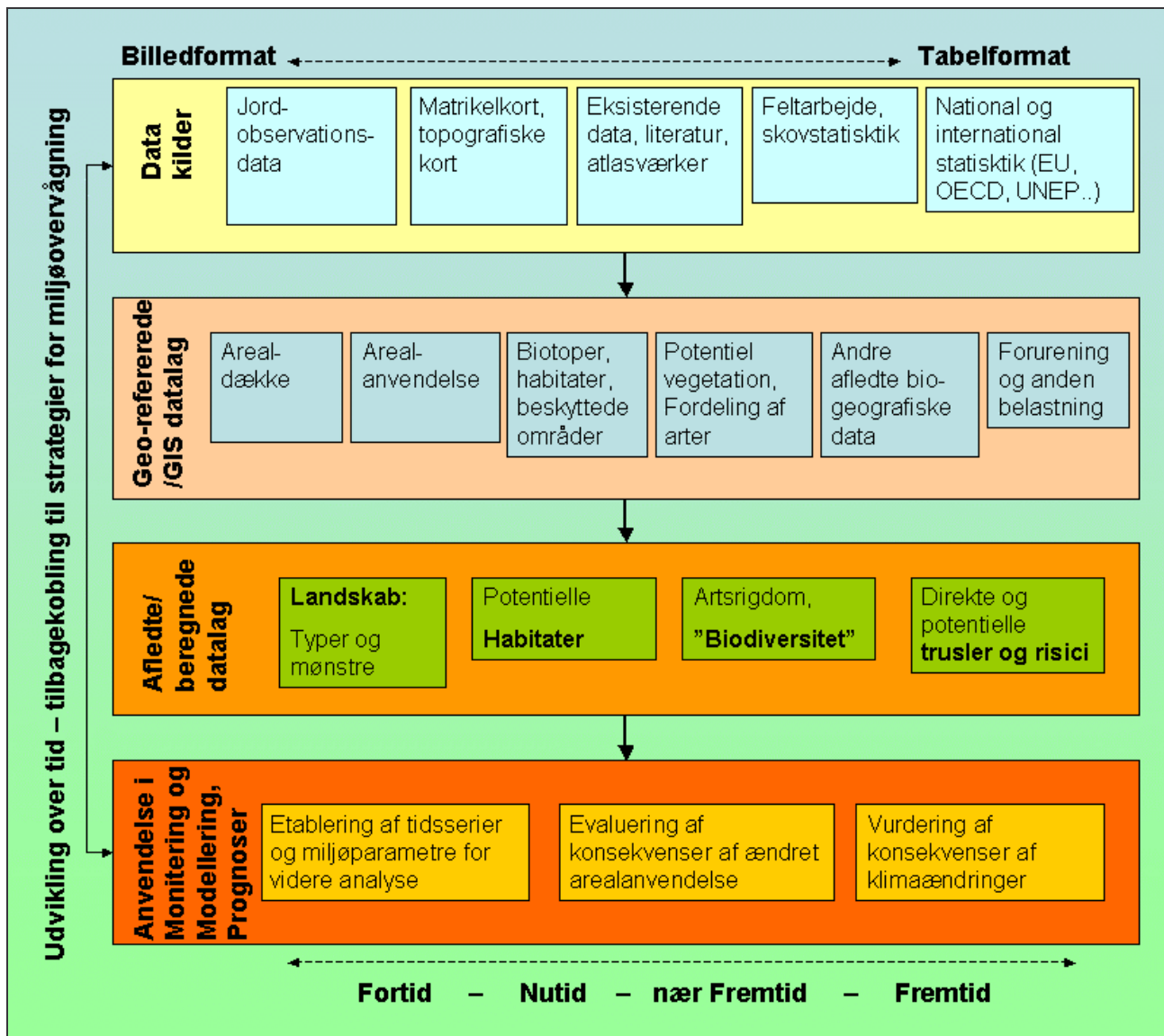
I det sidst empiriske studie i afhandlingen, kapitel 6 demonstreres en mulig anvendelse af teknikken med bevægeligt fokus for beregning af rumlige strukturmål indenfor forvaltning af skov og landskab. Der blev udarbejdet fire forskellige scenarier for skovrejsning i Vendsyssel, ud fra såvel egionplanens udpegning af skovrejsningsområder(DA) som kriterier om større sammenhæng mellem eksisterende skovområder (IC) minimering af Hemerobi ved skovrejsning på de områder der p.t. har den højste H-indeksværdi (MH) og endelig nem offentlig adgang til skov gennem skovrejsning så nær bebyggede områder som muligt (NU). Forkortelserne i parentes henviser til de angivelser der bruges i Figur 6. En simpel og hurtig metode blev brugt til at tildele forskellige typer af skov (løv-, gran-, blandet) ud fra terræn og jordbund. Derpå kunne de forventede ændringer i værdierne af de rumlige strukturmål og FC-profiler beregnes. Der sås væsentligt forskellige værdier og ikke mindst en forskellig geografisk fordeling af disse, og det kunne sluttes at såvel de afledte kort og tabeller som FC-kurver er lovende værktøjer i arealplanlægningen.

Væsentlige litteratur henvisninger:

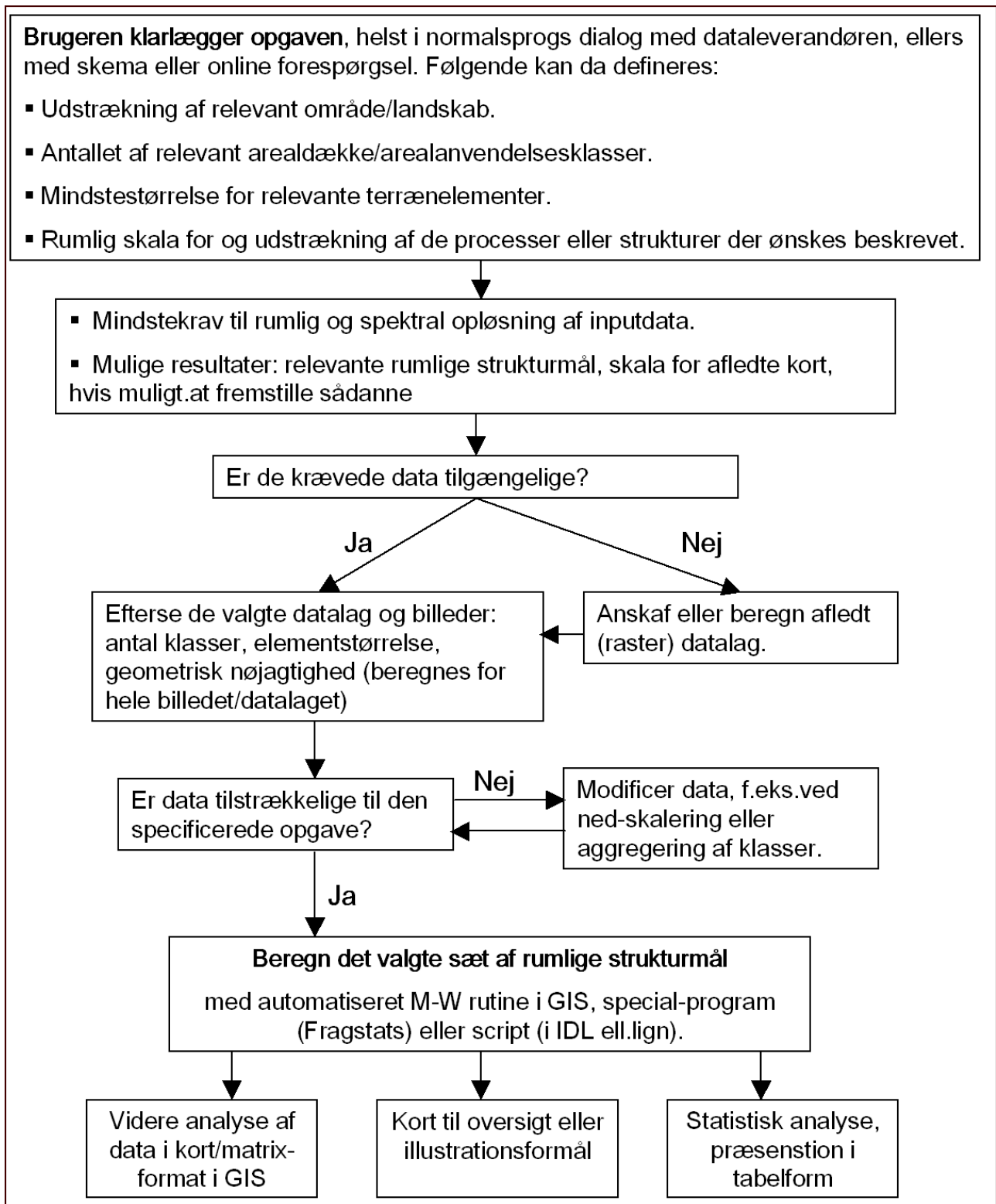
1. Brentrup, F., J. Küsters, J. Lammel, H. Kuhlmann (2002): Life Cycle Impact Assessment of Land Use Based on the Hemeroby Concept. *International Journal of Life Cycle Assessment* vol. 7, no. 6, pp. 339-348.
2. Frohn, R.C. (1998): Remote sensing for landscape ecology - new metric indicators for monitoring, modelling and assessment of ecosystems. Lewis Publishers, CRC Press, Boca Raton, Florida.
3. Häusler, T., Akgöz, E., Ekstrand, S., Gallaun, H., Lagarde, I., Loeffmark, M., Schardt, M., Pelz, D.R., Obergföll, P. (2000): Monitoring Changes and Indicators for Structural Diversity of Forested Areas. In: Proceedings of the IUFRO conference on "Remote Sensing and Forest Monitoring" Rogow, Poland 1-3 June 1999, eds. T. Zawila-Niedzwiecki, M. Brach. EUR 19530 EN - European Communities, Luxembourg. Pages 392-414.
4. Innes, J., B. Koch (1998): Forest biodiversity and its assesment by remote sensing. *Global Ecology and Biodiversity Letters*, vol. 7, pp. 397-419.
5. McGarigal, K. og Marks, B.J. (1995): FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program for Quantifying Landscape Structure. General Technical Report PNW-GTR-351. Pacific Nrothwest Research Station. August 1995. Available at http://www.fs.fed.us/pnw/pubs/gtr_351.pdf (accessed 19/9 2004).
6. O'Neill, R.V., Hunsaker, C.T., Timmins, S.P., Jackson, B.L., Jones, K.B., Riitters, K.H. Wickham J.D. (1996): Scale problems in reporting landscape pattern at the regional scale. *Landscape Ecology* vol. 11, no. 3, pp. 169-180.
7. O'Neill, R.V., Hunsaker, C.T., Jones, K.B., Riitters, K.H. , Wickham, J.D. , Schwartz, P.M. , Goodman, I.A. , Jackson, B.L. Baillargeon, W.S. (1997): Monitoring environmental quality at the landscape scale. *BioScience* vol. 47, no. 8, pp. 513-519.
8. Vogt, J.V., Puumalainen, J., Kennedy, P., Folving, S. (2004): Towards the Characterisation and Analysis of European Landscapes: Integration of Information on River Networks, Catchments and Major Forest Types. *Landscape and Urban Planning* vol. 67, no. 1-4. pp. 27-41.
9. Weiers, Stefan, G. Groom & M. Wissen (2002): Comparability and subjectivity of land cover maps produced with digital image classification techniques: some recent experiences from Denmark and northern Germany. *Geografisk Tidsskrift, Danish Journal of Geography* vol. 102, pp. 59-77.

Epilog

Denne artikel bygger på dels introduktions afsnittet og den samlede konklusion i afhandlingen og dels på meddelelser og arbejdsnotater, der undervejs i forløbet er udsendt til alle dem der har hjulpet mig med data, viden og gode råd.



Figur 8 Konceptuel model for integration af jordobservationsdata med andre informationskilder, specielt med henblik på miljøovervågning, der baserer sig på monitoring af habitat-typer og kortlægning af biotoper. (fra Estreguil *et al* 2001, der også er brugt som fig. 2.6 i afhandlingen).



Figur 9 Forslag til mulig fremgangsmåde ved landskabsøkologisk (inspireret) analyse med brug af jordobservationsdata og rumlige strukturmål. (modificeret udgave af fig. 2.7 fra afhandlingen).