

Illustration af fremtidens arealanvendelse til energiafgrøder på landskabsskala i et GIS

Ann-Sofie Richardt

Denne artikel beskriver hvordan GIS er blevet anvendt i et speciale på Geografi til at illustrere resultater af scenarier af dansk landbrugs arealanvendelse på landskabsskala. Fire scenarier, der repræsenterer forskellige samfundsudviklinger frem til 2030, udforsker hver især hvordan knaphed på fossile brændsler og bestræbelser på at reducere drivhusgasudledninger til atmosfæren, påvirker landbrugets arealanvendelse til produktion af energiafgrøder.

Væsentlige økonomiske og politiske forhold taler for at fremtidens landbrugsmæssige arealanvendelse ikke alene vil være knyttet til udviklingen i markedet for fødevarer men også til udviklingen i energi- og transportsektoren. Stigende priser på fossile brændsler, hensyn til national forsyningsikkerhed og bekymringer for de stadig tydeligere effekter af menneskeskabte klimaforandringer har medført en øget interesse for at anvende biomasse fra landbruget i energiforsyningen som CO₂-neutral energikilde.

En helt central problematik, der knytter sig til udnyttelsen af biobrændsler i transport- og kraftvarmesektoren er behovet for areal (Kløverpris, 2008). Scenarierne der præsenteres i denne artikel adresserer arealanvendelse til produktion af energipil til kraftvarmesektoren og produktion af rapsfrø til biodieselindustrien. Begge produktioner beslaglægger landbrugsareal som kunne alternative have været anvendt i foder og fødevarerproduktionen eller som naturarealer.

Scenarierne

Fire scenarier er udviklet for Danmarks energi- og landbrugssektor i 2030 med afsæt i FN's internationale scenarieprojekt 'Millenium ecosystem assessment' (2003). De tænkte samfundsudviklinger er struktureret omkring to overordnede drivkræfter; samfundets tilgang til klima-, natur- og miljøproblematikker og graden af globalisering som vist i figur 1. Scenarierne forudsætter at produktionen af biodiesel og træflis fra energipil som følge af høje priser på fossile brændsler og CO₂-kvoter vil være økonomisk konkurrencedygtige energikilder.

Drivkræfter

Inden for denne ramme er fire politisk og markedsbetingede drivkræfter kvantificeret; husdyrproduktionens størrelse, egenproduktion / import af foder, energiforbrugets størrelse og sammensætning i el-produktionen og i vejtransportsektoren, samt formen og omfanget af klima-, miljø- og naturforvaltning. Kvantificeringen af scenarierne er vist i tabel 1. Da målsætningen med scenarierne var at illustrere mulige udviklinger på landskabsskala i et GIS, blev drivkræfterne valgt ud fra en antagelse om, at de både ville have væsentlig indflydelse på arealanvendelsesændringer og medføre en rumlig variation på landskabsskala.

Det nationale energiforbrug og udformningen af energisystemet styrer fordelingen mellem forskellige vedvarende energikilder og dermed arealanvendelse til energiafgrøder. I el-produktionen har fordelingen mellem vindproduceret el og biomasse betydning, mens fordelingen mellem el-drevne biler og biler med forbrændingsmotor er afgørende i vejtransportsektoren.

Husdyrproduktionens størrelse påvirker arealanvendelsen dels gennem behov for areal til foder og dels gennem behovet for tilstrækkeligt areal til at udbringning af husdyrgødning. Endelig vil økonomisk støtte til energipil og raps som nationale tiltag til CO₂-reduktion være betinget af produktionens forenelighed med andre hensyn i forvaltningen af natur, miljø og landskab og den økonomiske værdisætning af disse.

Data

Furuden de politisk og markedsbetingede drivkræfter, indebærer en rumlig undersøgelse

<p>Globalt reaktivt scenarie</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Fokus på global handel og økonomisk liberalisering ▪ Voksende global befolkning ▪ Økonomisk vækst og voksende forbrug af animalske produkter globalt ▪ Stigende priser på vegetabiliske råvarer ▪ Dominerende landskabsdiskurs er produktionsorienteret ▪ CO₂-reduktionsforpligtelser opfyldes i høj grad uden for DK 	<p>Globalt proaktivt scenarie</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Globalt forbundet verden ▪ Reduceret forbrug af animalske produkter ▪ Massive investeringer i 'grønne' teknologier ▪ Bæredygtighedsbetragtninger anlægges på global skala ▪ Regulering sigter mod at skabe marked for eksternaliteter ▪ Globalt omfattende produktion af biobrændstoffer
<p>Reaktivt og beskyttet EU scenarie</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Fokus på sikkerhed og beskyttelse ▪ Lavere økonomisk vækst og stagneret befolkning i EU ▪ Vægt på regionale markeder ▪ Garanterede mindstepriser på landbrugets produktion ▪ Obligatoriske iblandingskrav (biobrændstof) ▪ Fastsatte EU mål for vedvarende energi ▪ Nuværende miljø og naturbeskyttelse fastholdes 	<p>Proaktivt, nationalt selvforsynings-scenarie</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Danmark selvforsynende med fødevarer og energi ▪ Mere vegetabilisk diæt ▪ Lavere økonomisk vækst ▪ Stærkt bæredygtighedsbegreb på økosystem-skala ▪ Landbrugsstøtte sikrer diversificeret forsyning ▪ Landbruget er omlagt til økologi ▪ Naturpleje og genopretning højt prioriteret

Figur 1. Samfundsudviklinger struktureret omkring to overordnede drivkræfter; samfundets tilgang til klima-, natur- og miljøproblematikker og graden af globalisering.

en række variable der er stedfæstet i det konkrete område for undersøgelsen; biofysiske forhold, forvaltningsmæssige områdeudpegninger samt agronomiske variable i form af bedriftstyper og tilhørende husdyrbesætninger. Udgangspunktet for den rumligt eksplícitte illustration af scenarierne var et sæt eksisterende rumligt stedfæstede data om bedriftstyper og tilhørende marker for sogne- ne Gadbjerg og Givskud (Kristensen, 1995). Relevante områdeudpegninger fra Danmarks Arealinformation repræsenterede politiske na-

tur-, miljø- og landskabshensyn. Jordbundsforhold blev repræsenteret ved digitaliserede kort af 'Den danske jordklassificering' og 'lavbundsområder' begge fra Danmarks Jordbrugsforskning.

Kategoriseringer

Der skelnes mellem fire typer af jordbundsforhold. Jordbundstyperne afspejler dels det dyrkningsmæssige potentiale og dels miljømæssige hensyn i form af mulighederne for kulstoflagring og reduktion af drivhusgasudled-

Tabel 1. Kvantificerede scenarier

Scenarie	Globalt reaktivt	Regionalt reaktivt	Globalt proaktivt	Nationalt proaktivt
Råolipris	120 \$/td.	105 \$/td.	90 \$/td.	105 \$/td.
CO2-kvotepri	150 kr./t	300 kr./t	500 kr./t	325 kr./t
Andel af vedvarende energi i elproduktion	76,7 %	76,3 %	84,6 %	95 %
Arealbehov til flerårig energipil	125.000 ha	100.000 ha	75.000 ha	209.000 ha
Andel af flydende biobrændstoffer i vejtransportsektor	26 %	18 %	41 %	38 %
Arealbehov til biobrændstof råvarer	import	250.000 ha	Op til 250.000 ha	4 – 500.000 ha
Årlig produktion af slagtesvin mio.	35	10	17,3	4,2
Mio. DE i øvrige animalske produktion	1,5	1,25	0,75	0,60
Import af foder	Ja	Inden for EU	Ja	Nej
Andel importeret Kraftfoder	65 %	25 %	50 %	-
Andel importeret Grovfoder	30 %	-	20 %	-

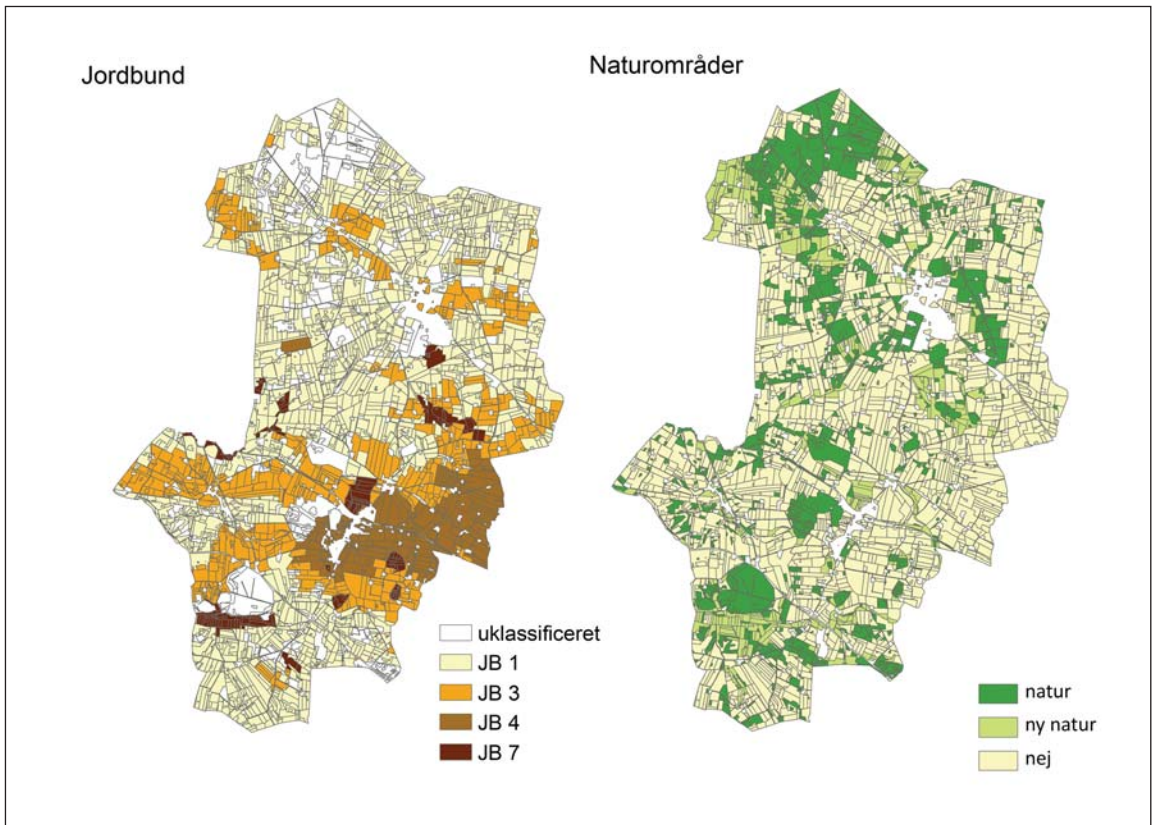
ninger ved udtagning af lavbundsarealer og reduceret kvælstofudvaskning fra lavbundsarealer og sandjorder. Agronomisk skelnes der mellem tre bedriftstyper. Planteavlbedrifter er relativt frit stillet til at anvende arealet til de afgrøder der giver det højeste afkast. Svinebedrifter og kvægbedrifter er bundet af at skulle sikre foder enten gennem egen produktion eller gennem import. Svinebedrifterne har ikke de samme muligheder som kvægbedrifterne for at regulere andelen af grovfoder i fodersammensætningen. Kvægbedrifterne har desuden mulighed for ekstensiv arealanvendelse gennem afgræsning i kombination med naturpleje.

Bedrifternes mulige arealanvendelser er opdelt i syv klasser.

- **Raps** repræsenterer raps behovet for biodiesel i scenarierne med beskyttede markeder,

dog begrænset af at afgrøden højst bør udgøre 10 % i sædskiftet. De globalt orienterede scenarier importerer biodiesel, men landbruget vil reagere på en øget global efterspørgsel på råvarerne til produktionen.

- **Energipil** repræsenterer behovet for biomasse til kraftvarme produktion. Det forudsættes, at behovet for biomasse opkøbes og dækkes nationalt.
- **Salgsafgrøder** dyrkes med henblik på at opnå et tilfredsstillende økonomisk afkast.
- **Grovfoder** -andelen afspejler priserne på kraftfoder i kvægbruget.
- **Kraftfoder** repræsenterer foderproduktionen til svinebedrifterne og delvist til kvægbruget.
- **Vedvarende græs** reflekterer graden af ekstensivering i kvægbruget.



Figur 2. Eksempler på tematiserede markpolygoner.

- **Brak** repræsenterer arealer det ikke økonomisk kan svare sig at opdyrke.

Arealanvendelserne raps og energipil er tættest knyttet til udviklingen i energisektoren, men også arealanvendelsen til kraftfoder er påvirket gennem af udbuddet af biprodukter fra biobrændstofproduktionen. Arealanvendelserne brak, vedvarende græs, energipil og økologisk dyrket raps kan desuden repræsentere målsætninger på natur, miljø og klimoområdet så som beskyttelse af vandmiljø og CO₂ reduktion.

Med udgangspunkt i de nævnte data og kategoriseringer var udfordringen at operationalisere forhold der tilsammen udgør beslutningsgrundlaget for landbrugerens valg af arealanvendelse i et GIS uden at udvikle en egentlig

økonomisk model. Løsningen blev at udtrykke kombinationen af scenariets markedsforhold og jordens dyrkningsmæssige potentiale som bedriftstypespecifikke værdier mellem 1 og 4. Værdien 1 repræsenterer den økonomisk mindst attraktive arealanvendelsesmulighed og 4 den mest attraktive.

Konceptuelle antagelser

Konceptuelt er den resulterende arealanvendelse til energiafgrøder desuden påvirket af to grundlæggende antagelser. Dels om landbrugsarealet betragtes som konstant eller som dynamisk, og dels af om produktionen af bioenergiafgrøder betragtes som en integreret del af landbrugsproduktionen eller som en produktion der foregår parallelt hertil på landbrugsmæssigt marginale jorder. I nærværende artikel er det forudsat at

1. landbrugsarealet er konstant.
2. produktionen af afgrøder til energiformål er en integreret del af landbrugsproduktionen.

Den første antagelse er operationaliseret ved at naturarealer og skov ikke kan konverteres til landbrugsmæssig arealanvendelse, mens den anden antagelse medfører at arealanvendelsesklasserne energipil og raps er konkurrerende til de øvrige klasser. Konkurrencen er operationaliseret ved, at den resulterende arealanvendelse er den mulighed der opnår den højeste værdi.

Markpolygoner som konstant rumlig struktur

En datamodel kan beskrives som en repræsentation af den geografiske virkelighed i en praktisk og digitaliseret form (Longley et al. 2005). Den form data repræsenteres i påvirker både modellens resultater og anvendelsesmuligheder. I et vektorbaseret GIS resulterer overlay-operationer mellem lag der repræsenterer forskellige værdier, ofte i et output af en mængde mindre polygoner. Som selvstændige objekter, kan disse polygoner være svære at genkende i virkelighedens landskab. Dette er især tilfældet hvis et eller flere af overlay-operationernes lag repræsenterer planlægningsmæssige interesser eller andre værdier der ikke er synlige i landskabet.

Da landbrugerens beslutninger på bedriftsniveau er centrale for illustrationen af scenarierne, må det rumlige output afspejle de enheder i landskabet landbruger opererer med. Derfor er 'markpolygonerne' valgt som en konstant struktur gennem operationaliseringen af scenariernes konsekvenser. Metoden til at bevare markpolygonerne var at knytte alle øvrige rumlige variable til markpolygontemaets attributtabel. For hvert rumligt tema blev der oprettet et nyt felt i attributtabellen. Tema for tema blev markpolygoner, der lå inden for den variable i temaet, udvalgt og fik tilføjet temaets værdi i attributtabellen.

De resulterende kort er illustreret i figur 2, side 27.

Den overordnede fremgangsmåde for operationaliseringen kan inddeles i 5 trin;

1. Tilknytning af biofysiske og planlægningsmæssige variable til markpolygoner
2. Fremstilling af scenariospecifikke bedriftstemaer, ved aggregering af markpolygoner, tilføjelse af bedriftsspecifikke data og endelig tilpasning af husdyrholdets størrelse til scenarierne
3. Fremstilling af scenariospecifikke marktemaer ved tilknytning af værdier der repræsenterer attraktiviteten af forskellige arealanvendelsesmuligheder til de sammenføjede mark- og bedriftstemaer.
4. Regulering af værdier i forhold til natur, miljø og landskabshensyn.
5. Automatiseret udvælgelse af resulterende arealanvendelse på markerne.

Biofysiske og planlægningsmæssige variable

Seks rumlige variable blev knyttet til markpolygontemaets attributtabel. To repræsenterer biofysiske variable (jordbundsforhold og hydrologi), mens de øvrige fire repræsenterer henholdsvis planlægningsmæssige beskyttelsesinteresser (landskabsværdier og natur) og områdeudpegninger til målretning af økonomisk støtte (SFL-områder og skovrejsningsområder).

To af disse blev fremstillet ved en sammensætning af flere oprindelige temalag; 'landskabsværdier' og 'natur'. 'Landskabsværdier' repræsenterer hensyn som kan være i konflikt med arealanvendelse til energipil på grund af afgrødens højde. Temaerne kirkeomgivelser, kulturmiljøer og værdifulde landskaber blev samlet i et enkelt lag og grænserne mellem de oprindelige polygoner opløst.

Temalaget 'Natur' repræsenterer hensyn som er i konflikt med arealanvendelse til energipil, raps og andre afgrøder, fordi der findes eksisterende naturområder eller fordi området er udpeget til etablering af ny natur. Temalaget blev fremstillet af de oprindelige lag beskyt-

forbud	pil	Øko raps	LU KRFO	LU GRFO	LU SALGS	LU VEDV	LU RAPS	LU PIL	LU BRAK	sum ma be	res1	res2
tilskud	tilskud		4	2	1	2	3,6	1,2	2	87,2	kræffoder	raps
tilskud	tilskud		4	2	1	2	3,6	1,2	2	87,2	kræffoder	raps
tilskud	tilskud		4	2	1	2	3,6	1,2	2	87,2	kræffoder	raps
forbud			4	2	1	3,6	3	0	2	87,2	vedvarende græs	vedvarende græs
	tilskud		4	2	1	2	3,6	1,2	2	87,2	kræffoder	raps
forbud			4	2	1	2	3	0	2	10,8	natur	raps
tilskud	tilskud		4	2	1	2	3,6	1,2	2	87,2	kræffoder	raps
tilskud	tilskud		4	2	1	2	3,6	1,2	2	87,2	kræffoder	raps
tilskud	tilskud		4	2	1	2	3,6	1,2	2	87,2	kræffoder	raps
tilskud	tilskud		4	2	1	2	3,6	1,2	2	87,2	kræffoder	raps
tilskud	tilskud		2	4	1	4	3,6	1,2	1	97,3	grovfoder	vedvarende græs
tilskud	tilskud		2	4	1	4	3,6	1,2	1	97,3	grovfoder	vedvarende græs
tilskud	tilskud		2	4	1	4	3,6	1,2	1	97,3	grovfoder	vedvarende græs
tilskud	tilskud		2	4	1	4	3,6	1,2	1	97,3	grovfoder	vedvarende græs
forbud			3	4	1	4	2	0	3,6	97,3	kræffoder	vedvarende græs
tilskud	tilskud		2	4	1	4	3,6	1,2	1	97,3	grovfoder	vedvarende græs
tilskud	tilskud		2	4	1	4	3,6	1,2	1	97,3	grovfoder	vedvarende græs
tilskud	tilskud		2	1	2	1	4,8	4,8	3	85,6	energipil	raps
forbud			0	0	0	0	0	0	0	12,2	natur	natur
tilskud	tilskud		2	1	2	1	4,8	4,8	3	85,6	raps	raps
tilskud	tilskud		2	1	2	1	4,8	4,8	3	85,6	raps	raps
forbud			0	0	0	0	0	0	0	12,2	natur	natur

Figur 3. Screenshot af marktemaets attributtabel med arealanvendelsesværdier til hvert markpolygon.

tede naturtyper, fredede arealer, særlig værdifuld natur, ny natur og økologiske forbindelser.

Operationalisering af scenariernes husdyrhold

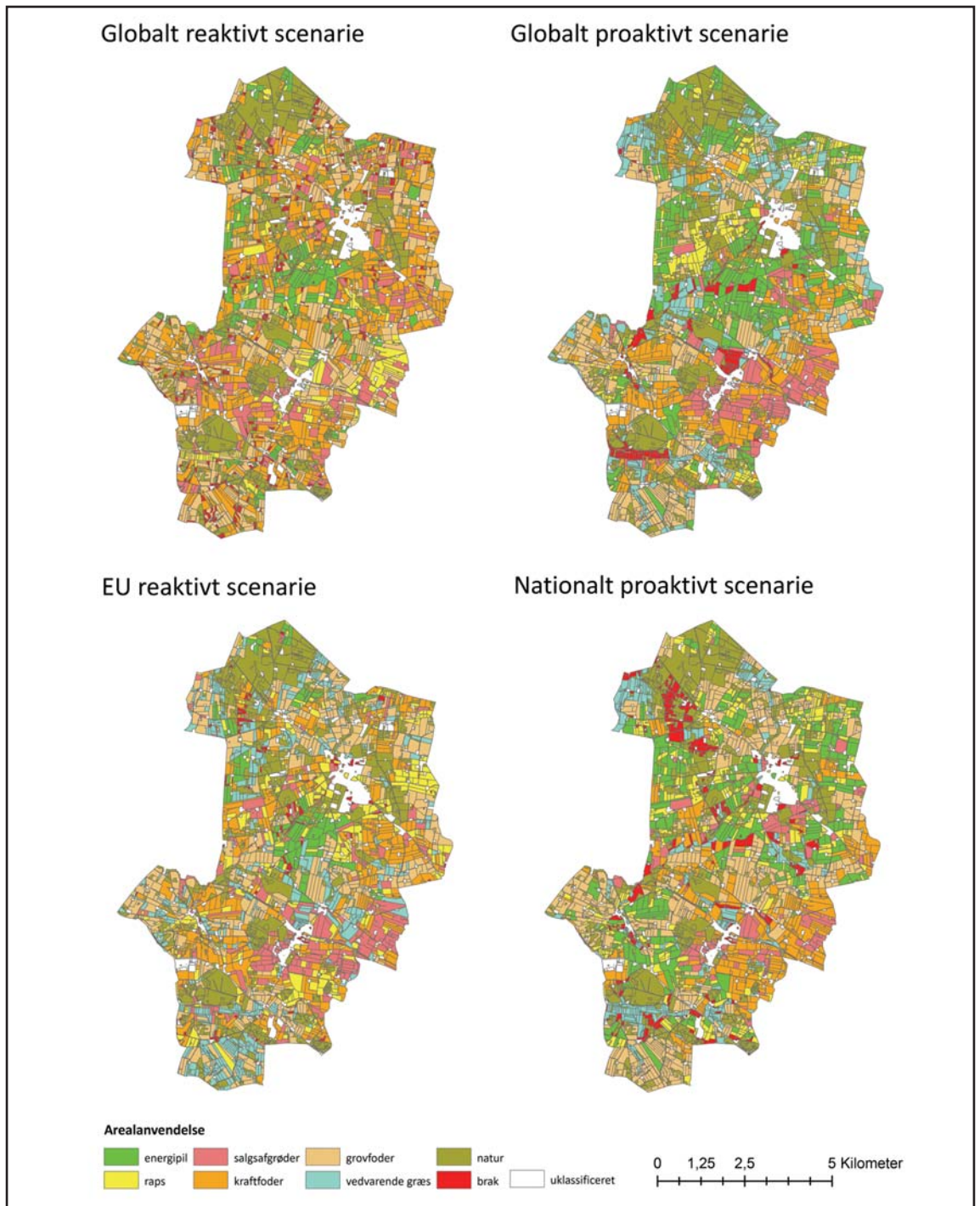
For at operationalisere scenariernes husdyrproduktion blev der fremstillet et bedriftstema ved aggregering af markpolygoner på bedrifter via en bedriftsnøgle. Data om bedriftstypen og bedrifternes besætning (dyreenheder) i 1995 blev tilføjet attributtabelen. Der blev oprettet fire kopier af bedriftstemaet, et for hvert scenarie. Herefter blev antallet af dyreenheder på hver bedrift reguleret i forhold til scenariets animalske produktion og belægningsgrad (antal dyreenheder per ha), som minimum bragt i overensstemmelse med nuværende harmoniregleres krav til areal.

I det globale proaktive scenarie var det forudsat at svineproduktionen foregik på jordløse brug i tilknytning til biogasanlæg. Her blev alle svinebedrifter ændret til 'planteavl'. I det proaktive selvforsyningsscenarie blev antallet af bedrifter bevaret, mens besætningerne blev kraftigt reduceret. I det reaktive og protektionistiske EU scenarium finder produktionen af svin sted på store højteknologiske

bedrifter. De mindste svinebedrifter blev ændret til planteavl, mens kvægbedrifterne blev reguleret til en belægningsgrad svarende til selvforsyning. I det reaktive globaliserede scenarie øges svineproduktionen med faktor 1,5 og den øvrige animalske produktion med 1,2. Halvdelen af produktionen af slagtesvin foregår dog på jordløse brug. De arealmæssigt største svinebedrifter blev bevaret mens resten blev ændret til planteavl.

Fremstilling af scenariespecifikke marktemaer

Descenariespecifikke bedriftstemaer blev sammenføjet med kopier af marktemaet, således at der til hver enkelt markpolygon nu også var knyttet oplysninger om bedriftstypen. Derpå blev der i attributtabelen oprettet et felt for hver arealanvendelseskategori. I disse felter blev værdierne 1 - 4 (der var et udtryk for den økonomiske attraktivitet) tilføjet. Desuden blev der oprettet felter til at repræsentere scenariets forbud mod eller tilskud til energipil og raps. Arealanvendelseskategorierne energipil og raps blev reguleret for de markpolygoner, hvor var forbud eller tilskud. Ved forbud blev værdien ændret til 0. Ved tilskud blev værdien multipliceret med enten 1,2, 1,4 eller 1,6 alt efter scenariets vilje til at hæve det økonomi-



Figur 4. Resulterende arealanvendelse under de fire scenarier for år 2030

ske incitament. Desuden blev muligheden for brak i vådområder og vedvarende græs i vådområder og på lavbundsarealer forhøjet i de proaktive scenarier.

Automatiseret udvælgelse af resulterende arealanvendelse

Sidste trin i operationaliseringen foregik ved hjælp af et applikationsprogram til GIS. Markpolygontemaerne fik hver tilføjet to resultatfelter. Gennem en iterativ proces fandt og tilføjede programmet arealanvendelsen med den højeste værdi som resultat 1. Da flere arealanvendelser kunne opnå samme værdi blev disse tilføjet som resultat 2. Endelig blev resultat 1 ændret til 'natur' hvis der var tale om et naturareal. Den automatiserede proces kunne ikke tage højde for øvre og nedre grænser for en arealanvendelses mulighed. Tilsvarende kunne den ikke tage højde for det forhold, at selv specialiserede bedrifter i nogen grad søger at diversificere arealanvendelsen. En manuel efterbehandling ud fra en række pejlemærker var derfor nødvendig. Den resulterende arealanvendelse i illustrationen er vist i figur 4.

Resultaterne af den rumlige illustration hviler alene på værdierne for 'økonomisk attraktiv arealanvendelse' og reguleringen af disse, der repræsenterer scenariernes indsats på klima, miljø og naturområdet gennem økonomisk støtte til landbruget. Som plausible illustrationer af arealanvendelsen i 2030 står og falder illustrationen altså med kvaliteten af den bagvedliggende analyse af landbrugs- og energisektor.

Substitution af fossile brændsler med biomasse rejser vigtige etiske diskussioner om

fordeling af arealressourcer til henholdsvis fødevarer, foder, energiproduktion og natur. Fra et geografisk synspunkt er det ikke alene vigtigt foretage vurderinger af ressourcenbasen for fremtidig udnyttelse af biomasse i transport og energisektoren, det er også vigtigt at vurdere, hvilke steder der vil blive påvirket af at en sådan udnyttelse, og hvordan eventuelle ændringer vil tage form. Illustreret i et GIS kan scenarier anskueliggøre forskellige problemstillinger der følger med arealanvendelse til energiafgrøder og således knytte diskussionerne til landskabets rolle i økologiske, miljømæssige, sociale og kulturelle sammenhænge.

Referencer:

Kløverpris, J., Wenzel, H., Banse, M., Canals, L. M., Reenberg, A. (2008): Global Land Use Implications of Biofuels: State-of-the-Art, Conference and Workshop on Modelling Global Land Use Implications in the Environmental Assessment of Biofuels. Land Use and Biofuels. *Int J LCA* 13(3) 178-183 (2008).

Kristensen, S. P. (1995) har stillet bedrifts og markdata fra Gadbjerg Givskud området til rådighed for GIS-illustrationen. Data blev indsamlet i 1995 i forbindelse med forskningsprojekt.

Longley, P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D. J. and Rhind, D. W. (2005): *Geographic Information Systems and Science* 2nd Edition. John Wiley & Sons, Ltd. England

Millennium Ecosystem Assessment (2003): *Systems and Human Well-being: A Framework for Assessment*. Island Press 2003.

Ann-Sofie Richardt

Ann-Sofie Richardt, nyuddannet cand. scient i geografi og geoinformatik, email: annsofie.richardt@gmail.com