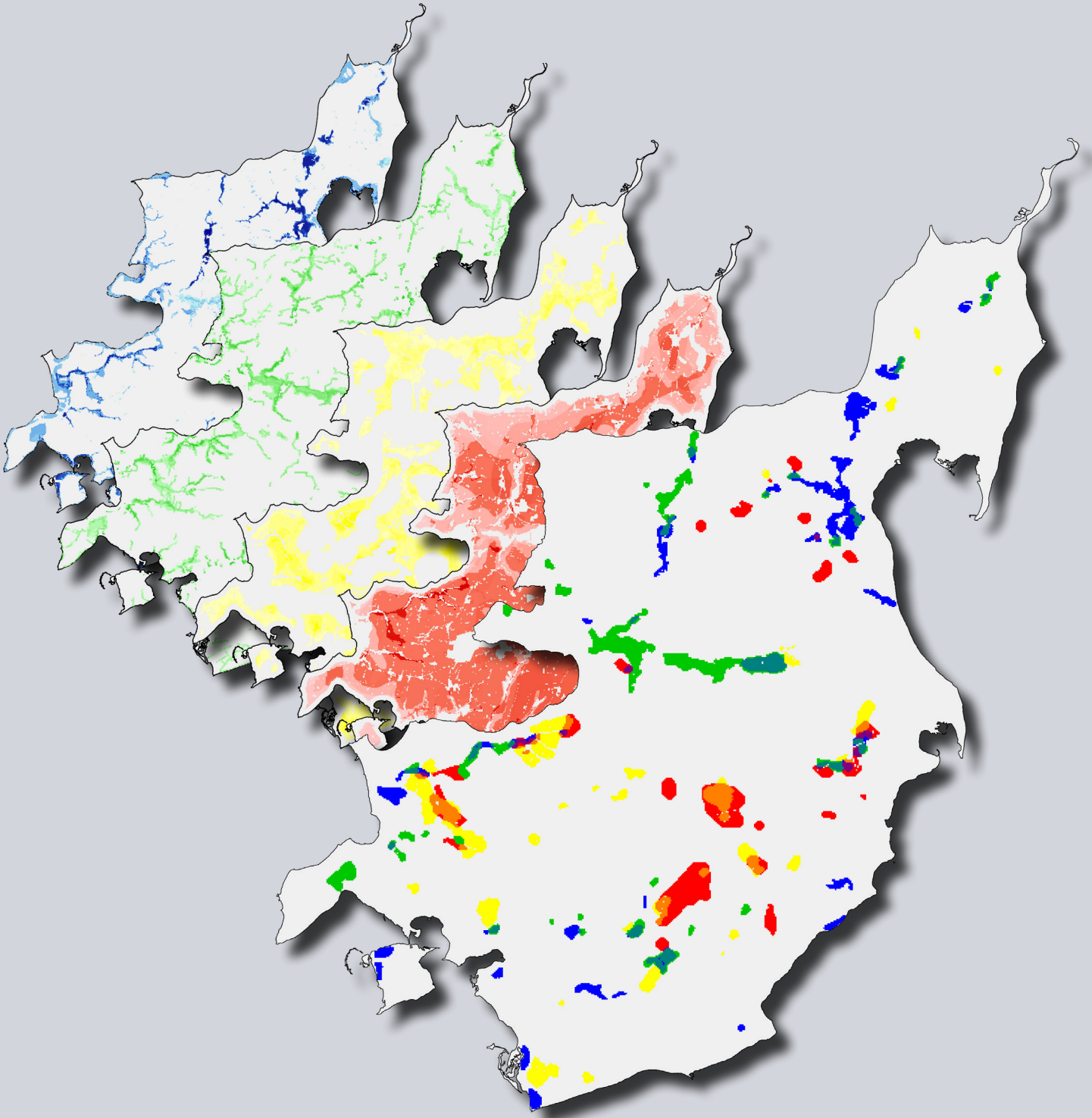


Allokering af arealinteresser i det åbne land ved brug af en MOLA-algoritme



**Specialeafhandling
Aalborg Universitet
Surveying, Planning and Land Management**



AALBORG UNIVERSITY
STUDENT REPORT

Femte Studieår v/ Teknat og Sund

Landinspektørvidenskab

Rendsburggade 14

9000 Aalborg

<http://www.tnb.aau.dk>

Titel:

Allokering af arealinteresser
i det åbne land ved brug
af en MOLA-algoritme

Projekt:

Landinspektørvidenskab, speciale

Projektperiode:

Februar 2023 - Juni 2023

Projektgruppe:

Gruppe 5, SPLM4

Deltagere:

Frida Dalbjerg Kunnerup
Signe Toft Jensen
Simon Quaade Vinther

Vejleder:

Jan Kloster Staunstrup

Sidetæl: 107

Normalsider: 83

Bilag: 6

Afsluttet: 2/6-2023

Synopsis:

Projektet belyser de arealmæssige udfordringer, der er gældende for placering af vedvarende energianlæg og hvordan planlægningen herfor kan faciliteres ved brug af beslutningsstøtteværktøjer.

I 2022 blev der vedtaget en målsætning om at firedoble produktionen af el fra vedvarende energianlæg på land inden 2030. Denne målsætning og de udfordringer, der følger behandles i projektets foranalyse. Dette gøres i en planlægningsmæssig kontekst, hvor rationel planlægning behandles. Med afsæt i den rationelle tilgang belyses beslutningsstøtteværktøjer som et hjælpemiddel til placering af vedvarende energianlæg, hvor MOLA kan være en hensigtsmæssig tilgang, da denne metode placerer flere arealinteresser samtidigt med hensyn til hinanden.

Med afsæt i projektets foranalyse er følgende problemstilling udarbejdet: *Hvordan udvikles en MOLA-algoritme, der optimerer allokeringen af vedvarende energianlæg - under hensyntagen til øvrige arealinteresser i det åbne land?* Problemstillingen behandles i projektets hovedanalyse, hvor der udarbejdes en MOLA-algoritme for placering af arealinteresser i det åbne land. Algoritmen testes på et case-område med henblik på at evaluere dens anvendelighed i praksis og identificere eventuelle videreudviklingsmuligheder.

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

Abstract

This thesis is composed in the period from February 1st to June 2nd during the 4th semester of the Master's degree program *Surveying, Planning and Land Management*. The project is initiated by the pertinent measures and political plans regarding renewable energy sources, which have been adopted as a consequence of the war in Ukraine to make Denmark independent of Russian fossil fuels. In 2022, these initiatives resulted in a climate agreement that encompasses ambitious objectives for a quadrupling of the current production of renewable energy from facilities on land before 2030.

In the first part of the project, the spatial challenges which occur in relation to the implementation of this objective were investigated. One of the identified challenges regarded the limited land resource in rural areas, which necessarily must extend to the fulfillment of a number of often conflicting goals for land use. Another challenge that was highlighted is the local opposition that often arises with the location of renewable energy plants, which are considered locally unwanted land uses (LULUs). In order to investigate how the identified challenges related to the expansion of renewable energy plants can be mitigated in a planning context, theory of rational planning principles and the utilization of spatial decision support systems were examined. This is based on the rationale, that an objective allocation of land uses can be instrumental in order to strengthen the procedural justice among local actors and thereby ensure a successful project implementation of LULUs.

In the literature, the allocation of land uses has so far primarily been perceived as a single land use allocation problem, where an optimal location for a specific land use is found. However, the process should instead be regarded as a multifaceted problem - as a consequence of the complicated spatial and geographical limitations, as well as conflicting objectives that often apply. For that reason, the empirical data indicates that it is expedient to use multi-objective land use allocation (MOLA) for supporting the decision-making process related to complex allocation issues.

In the second part of the project, a MOLA algorithm was thus developed. The preliminary methodical delineations and theoretical requisites prompted the preparation of a requirements specification, which among other things stated that the development should be based on a Genetic Algorithm (GA) capable of managing four land uses as well as multi-functionality. Subsequently, the algorithm was tested on a selected case in order to assess its applicability in practice and discuss possible further development opportunities.

Forord

Projektet er en specialeafhandling udarbejdet på 4. semester af kandidaten *Surveying, Planning and Land Management* på Aalborg Universitet.

Projektet omhandler de arealmæssige udfordringer, der er forbundet med placering af vedvarende energianlæg i det åbne land, og er udarbejdet i perioden fra d. 1. februar til d. 2. juni 2023.

Der rettes tak til følgende personer, som har indvilliget i at stille op til interview, hvilket har bidraget med viden og sparring til projektet:

- Karsten L. Willeberg-Nielsen, landinspektør ved Mølbak Landinspektører A/S
- Esben Munk Sørensen, forhenværende forsker på Aalborg Universitet
- Henrik Vejre, professor på Københavns Universitet

Afslutningsvis rettes der tak til Jan Kloster Staunstrup, som har ageret vejleder på projektet, og har bidraget med konstruktiv og kompetent vejledning gennem hele projektperioden.

Læsevejledning

Projektet er inddelt i en indledende analyse og en hovedanalyse. Projektets struktur og metodetilgang præsenteres i starten af projektet og gælder for den samlede projektrapport. De metodiske og teoretiske overvejelser for hovedanalysen fremkommer i et særskilt kapitel i starten af analysen. Projektet indledes med en samlet indledning, og afrundes ligeledes med en samlet konklusion, hvorefter der afslutningsvis fremgår en perspektivering. For at følge projektets argumentationen, bør det læses i kronologisk rækkefølge.

Ved kildehenvisning anvendes Harvard-metoden [Efternavn, årstal] og alle kilder fremgår af projektets litteraturliste. Bilag er litrerede, og henvises til som 'Bilag X'. Bilag findes sidst i projektrapporten. Øvrige bilag, såsom kort og kildekode, kan findes i det eksterne bilag, som er sendt som en del af den samlede aflevering.

Figurer og tabeller er nummererede således, at de refererer til det kapitel, som de fremgår i. Eksempelvis er figur 4.3 tredje figur i kapitel fire. Figurer er af egenproduktion medmindre de fremgår med kildehenvisning. Endvidere kan egenproducerede figurer være udarbejdet med inspiration fra andre værker - i så fald vil dette fremgå af figurteksten med tilhørende kildehenvisning.

Indholdsfortegnelse

Abstract	iii
Kapitel 1 Indledning	8
Kapitel 2 Projektdesign	10
2.1 Abstraktionsniveauer for modellering	10
2.2 Projektstruktur	11
Kapitel 3 Metodologi og metode	14
3.1 Videnskabelig tilgang	14
3.2 Videnskabsteori	15
3.3 Kvalitative interviews	16
3.3.1 Interviewdesign	17
3.3.2 Verificering	18
I Foranalyse	20
Kapitel 4 Arealinteresser i det åbne land	21
4.1 Politisk dagsorden for etablering af vedvarende energianlæg	21
4.1.1 Planer og aftaler for udbygningen af vedvarende energianlæg	21
4.2 Manglende arealressource i det åbne land	24
4.2.1 Multifunktionel arealanvendelse	27
4.2.2 Lempelse af arealbegrænsninger og landzoneadministrationen	28
4.3 Lokal opposition mod vedvarende energianlæg	30
4.3.1 Processuel retfærdighed	31
4.3.2 Statslig udpegning	32
4.4 Konklusion	34
Kapitel 5 Rationel planlægning	35
5.1 Det rationelle planlægningsparadigme	35
5.1.1 Kritik af det rationelle planlægningsparadigme	36
5.2 Rationel planlægning i en nutidig kontekst	38
5.3 Konklusion	39
Kapitel 6 Værktøjer til planlægnings- og beslutningsstøtte	40
6.1 Spatial beslutningstagen	40
6.2 Beslutningsstøtteværktøjer	42
6.2.1 Spatial Decision Support Systems (SDSS)	42
6.2.2 Planning Support Systems (PSS)	43
6.2.3 Integrated Planning and Decision Support Systems (IPDSS) .	44
6.3 Beslutningsstøtte for allokering af arealinteresser	46

6.4	Konklusion	48
Kapitel 7	Konklusion på foranalyse	49
II	Hovedanalyse	51
Kapitel 8	Teori og metode for hovedanalysen	52
8.1	Præmissen for hovedanalysen	52
8.2	Multikriterieanalyse (MCA)	53
8.2.1	Valg af MCA-teknik	54
8.3	Multi-objective land use allocation (MOLA)	54
8.3.1	Typer af optimeringsalgoritmer	55
8.3.2	Metoder til vurdering af løsningsforslag	58
8.3.3	Spatiale datamodeller	59
8.3.4	Multifunktionalitet	60
8.4	Opsummerende begrebsafklaring	61
8.5	Sammenfatning	63
Kapitel 9	Multikriterieanalyse	64
9.1	Udvælgelse af arealinteresser	64
9.1.1	Multifunktionelle arealinteresser	65
9.2	Suitability maps	66
9.2.1	Multikriterieanalyse - vindmøller	67
9.2.2	Multikriterieanalyse - solceller	68
9.2.3	Multikriterieanalyse - lavbundsudtagning	68
9.2.4	Multikriterieanalyse - grønne korridorer	68
9.3	Konklusion	71
Kapitel 10	Udvikling af MOLA-algoritme	72
10.1	Opsummering af kravspecifikation	73
10.2	Tilgang til genudtryk	73
10.3	Tilgang til restriktionshåndtering	74
10.4	Den genetiske algoritme	75
10.4.1	Generering af indledende population	75
10.4.2	Udvælgelse til parring	76
10.4.3	Crossover	78
10.4.4	Mutation	80
10.4.5	Udregning af fitness	82
10.4.6	Udvælgelse til overlevelse	86
10.4.7	Algoritmens livscyklus og stopkriterie	89
10.5	Simplificeret testcase	90
Kapitel 11	Evaluerings af MOLA-algoritmen	92
11.1	Resultater fra case	92
11.2	Diskussion og evaluering af algoritmen	98
11.3	Eksempel på brugergrænseflade	99
11.4	Værktøjets indflydelse i en virkelig kontekst	101

Kapitel 12 Konklusion	102
Kapitel 13 Perspektivering	106
Litteratur	108
Bilag A Interview referat - Karsten L. Willeberg-Nielsen	119
Bilag B Interview referat - Esben Munk Sørensen	128
Bilag C Interview referat - Henrik Vejre	133
Bilag D Dataoversigt for MCA	136
Bilag E ArcMap ModelBuilders benyttet til MCA	137
Bilag F Begrebsafklaring af heuristiske metoder, AI og Machine Learning	139

Krigen i Ukraine har medført, at der sidste år blev vedtaget en målsætning om at gøre Danmark uafhængig af russisk gas, hvilket har medført et mål om, at Danmark skal firedoble den nuværende produktion af vedvarende energi på land frem mod 2030. Dette kan eksempelvis opnås ved at tidoble kapaciteten af solceller og fordoble kapaciteten af landvindenergi. [Regeringen, 2022a; Regeringen, m.fl., 2022a]

Samtidig er der i takt med klimaforandringerne kommet et øget fokus på omstillingen til vedvarende energikilder - blandt andet efter indgåelsen af Paris-aftalen i 2015, der er en juridisk bindende klimaaftale, som de 196 medlemslande af FN's klimakonvention indgik i. Aftalen forpligter medlemslandene til at reducere udledningen af drivhusgasser, og hertil har EU fastsat et samlet mål om at mindske udledningen med 40% inden 2030 i forhold til niveauet i 1990. [Klima-, Energi- og Forsyningsministeriet, 2015]

Som følge af Paris-aftalen udarbejdede Danmark en klimahandlingsplan i 2020, som satte et mål om at reducere udledningen af drivhusgasser med 70% inden 2030. I Klimahandlingsplanen 2020, af Klima-, Energi- og Forsyningsministeriet [2020] er der fastsat forskellige initiativer til at mindske udledningen. Disse initiativer er inddelt i forskellige sektorer, hvor tiltag såsom power-to-X anlæg, solcelleanlæg, vindenergi, skovrejsning og udtagning af lavbundslande skal være medvirkende til at mindske udledningen og dermed skabe et mere bæredygtigt samfund. [Klima-, Energi- og Forsyningsministeriet, 2020]

Gennem de senere år er der generelt kommet øget fokus på, hvordan de 43.000 kvadratkilometer, som Danmarks areal strækker sig over, skal prioriteres og anvendes. Det centrale spørgsmål vedrørende målsætningen om at firedoble kapaciteten af solenergi og landvindenergi er derfor, hvor anlæggene skal placeres og hvordan der findes plads til dem.

I 2016 blev rapporten *Prioritering af Danmarks areal i fremtiden* udgivet, som et resultat af et projekt, der blandt andet lagde de mange politiske planer og forventninger vedrørende arealinteresser sammen. Her blev det vurderet, at Danmark skal være omkring 30% større for at have plads til alle de ønsker, der er for landet [Fonden Teknologirådet et al., 2017]. Hvorvidt det er muligt at lave sådan en vurdering, behandles ikke yderligere i dette projekt, men det kan konstateres, at udfordringerne ikke er blevet mindre siden udarbejdelsen af rapporten. Eksempelvis offentliggjorde regeringen i 2021 en arealkrævende infrastrukturplan, der skal skabe et mere sammenhængende Danmark frem mod 2035 [Regeringen, 2021]. Fælles for de politiske planer er, at de alle kræver plads i det åbne land, samtidig med at landet bliver mindre som konsekvens af klimaforandringerne, og at byerne

og sommerhusområderne forventes at vokse i takt med øget velstand. [Fonden Teknologirådet et al., 2017]

Planloven (PL) har blandt andet til formål at *"sikre en sammenhængende planlægning, der forener de samfundsmæssige interesser i arealanvendelsen"* jf. PL § 1, stk. 1. Men ifølge daværende direktør for Dansk Byplanlaboratorium Ellen Højgaard Jensen kan arealbehovet ikke løses som det gøres på nuværende tidspunkt, hvor planlægning primært sker inden for de enkelte kommunegrænser. Hertil pointerer hun, at vedvarende energianlæg skal placeres strategisk klogt med hensyn til øvrige arealinteresser:

"Der skal udvikles helhedsorienterede arealplaner, så der kan placeres energianlæg på de mest hensigtsmæssige steder set i forhold til lavbundsjordene, jordkvalitet, infrastruktur, byudvikling med meget mere. Vi skal bruge den by, vi allerede har – og vi skal planlægge klogt i det åbne land." [Jensen, 2022]

For at sikre en fremtidig sammenhængende planlægning, som implementerer de mange arealinteresser, der er for landet, skal der altså ses nærmere på den nuværende planlægningsproces. I den forbindelse blev der i 2022 indgået en aftale mellem regeringen og en række andre partier om at ændre planloven, hvor der blandt andet skal skabes bedre muligheder for kommunerne for at understøtte den grønne omstilling med henblik på at tilgodese målsætningen om udbygningen af vedvarende energianlæg. Af den årsag udvides lovens formålsparagraf således, at klima kommer på niveau med natur, miljø, vækst og udvikling. [Regeringen, m.fl., 2022b]

Samlet set må det vurderes, at der over den kommende tid vil ske større ændringer for det åbne land, hvor flere interesser skal varetages og prioriteres for at nå de forskellige mål - herunder målsætningen om at firedoble produktionen af vedvarende energi på land inden 2030. I dette projekt vil der ses nærmere på de planlægningsudfordringer Danmark står over for, hvilket fører til følgende initierende problemstilling:

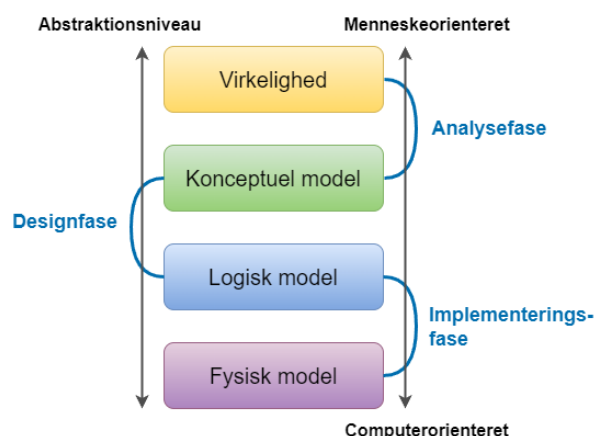
Hvilke arealorienterede udfordringer forekommer der i forhold til at opfylde de politiske målsætninger om udbygningen af vedvarende energianlæg inden 2030, og hvordan løses disse i en planlægningsmæssig kontekst?

Projektdesign 2

I dette kapitel præsenteres overvejelserne om projektets overordnede design, som udgør rammen for de teoretiske og metodiske valg, der foretages i både for- og hovedanalysen. Formålet er, at fastlægge en gennemgående strategi for at besvare henholdsvis det initierende problem og problemformuleringen. Kapitlet afsluttes med en gennemgang af projektets struktur, der har til hensigt at give overblik over de enkelte afsnits indbyrdes sammenhæng og vise en konkret illustration af, hvordan elementerne fra det valgte projektdesign indgår.

2.1 Abstraktionsniveauer for modellering

Det overordnede mål med projektet er at modellere en del af virkeligheden indenfor et problemfelt, der omfatter allokering af arealinteresser i det åbne land - med henblik på at udvikle et spatialt beslutningsstøtteværktøj, der kan facilitere og optimere den komplekse proces (uddybes i kapitel 6). Af den årsag anvendes et projektdesign, der tager udgangspunkt i de fire abstraktionsniveauer for modellering, der blev fastlagt på baggrund af en ANSI¹-standard fra 1975 [Balstrøm et al., 2006, s. 140]. Niveauerne og de mellemliggende faser; analyse, design og implementering, fremgår af figur 2.1.



Figur 2.1. Oversigt over konceptuelle, logiske og fysiske modelarbejdsgange. Figuren er udarbejdet med inspiration fra O'Brien [2021] og Fan et al. [2012].

I den første fase, *analyse*, identificeres og afgrænses en del af virkeligheden med henblik på at definere en konceptuel model. Formålet med dette er, at modellen

¹American National Standards Institute

skal medvirke til at øge forståelsen af konteksten, samt udgøre et grundlag for kommunikationen mellem udviklere og brugere. I dette projekt tages der udgangspunkt i definitionen fra Fan et al. [2012], hvori det pointeres, at den konceptuelle model er en systematisering af viden og processer i relation til det pågældende domæne - uden tilføjelsen af teknologiafhængige specifikationer:

"A conceptual model reflects knowledge about the application domain rather than about the implementation of information systems. It presents exactly what the process is expected to do, but includes no technology-dependent specifications." [Fan et al., 2012]

I den efterfølgende fase, *design*, etableres der en struktur for de enkelte dataelementer og deres indbyrdes relationer. Målet er her, at udarbejde en logisk model, der indeholder de nødvendige oplysninger for udviklingen af systemdesignet og udgør en klar specificering af den overordnede eksekveringslogik. [Sherman, 2014]

Dette overblik over entiteter, attributter og sammenhænge illustreres typisk med grafiske repræsentationer i form af procesdiagrammer eller dataflow-modeller [Fan et al., 2012]. Den logiske model udgør således *'the blueprint of the physical model'*. [Sherman, 2014]

I den sidste fase, *implementering*, tilføres specifikke datasæt fra en konkret case, så modellen bliver fuldt operationel. Dette forudsætter, at datatyper er fastlagt og at der er en operationel (geo)database, så modellen kan tilgå data for hver enkelt proces [Fan et al., 2012]. Produktet af dette trin er en databasespecifik fysisk model der udgør en computerorienteret repræsentation af det problemfelt, som der arbejdes med.

2.2 Projektstruktur

I dette afsnit præsenteres projektets overordnede struktur med afsæt i figur 2.2 på side 13, der illustrerer den indbyrdes sammenhæng mellem kapitlerne, samt deres formål. Hertil er abstraktionsniveauerne i kapitlerne indikeret med farverne fra figur 2.1. Diagrammet tydeliggør, at modellen i figur 2.1 indgår på forskellige niveauer gennem rapporten - både som den overordnede ramme for hele projektet med en fortløbende bevægelse fra det menneskeorienterede til computerbaserede og i de enkelte kapitler, hvor der i flere tilfælde indgår elementer fra forskellige abstraktionsniveauer. I den forbindelse er det væsentligt at understrege, at faserne og modellerne i realiteten ofte vil overlappe hinanden og der derfor ikke nødvendigvis vil forekomme en tydelig afgrænsning mellem niveauerne. I den forbindelse er formålet med strukturdiagrammet således at give et forsimplet overblik over, hvornår abstraktionsniveauerne indgår.

I projektets foranalyse udfoldes det initierende problem gennem tre kapitler med henblik på at beskrive og afgrænse den del af virkeligheden, som skal modelleres i hovedanalysen. Formålet med det første kapitel (**kap. 4**) er at undersøge hvilke arealmæssige udfordringer, der forekommer i forbindelse med realiseringen af målet om udbygningen af vedvarende energianlæg på land. Her ses først nærmere på

problemstillingen om den begrænsede arealressource, som skal strække til indfrielsen af en række ofte modsatrettede mål for anvendelsen i det åbne land. Derefter udfoldes udfordringen med den lokale opposition, som ofte opstår ved placering af vedvarede energianlæg. Undersøgelsen opfølges af en diskussion om, hvor stor en del af problemstillingerne, der kan løses gennem henholdsvis multifunktionalitet og/eller en mere strategisk, topstyret tilgang til planlægningen. I kapitlet tages der afsæt i politiske planer for den fremtidige prioritering af arealinteresser og empiri fra tre udførte kvalitative interviews (interviewmetode præsenteres i kapitel 3).

I det andet kapitel (**kap. 5**) undersøges, hvilke planlægningsteoretiske principper, der kan anvendes for at undgå eller mindske den lokale opposition ved allokering af uønskede arealanvendelser i det åbne land. Her tages der udgangspunkt i teori om det rationelle planlægningsparadigme - suppleret med pointer fra de udførte interviews. De to første kapitler udgør således den primære del af analysefasen fra figur 2.1, hvor problemfeltet identificeres og beskrives.

I det tredje kapitel (**kap. 6**) undersøges hvilke værktøjer, der kan være med til at optimere og understøtte beslutningsprocessen ved allokering af arealinteresser. I den forbindelse præsenteres der et integreret planlægnings- og beslutningsstøttesystem, som kommer til at udgøre den konceptuelle ramme for hovedanalysen.

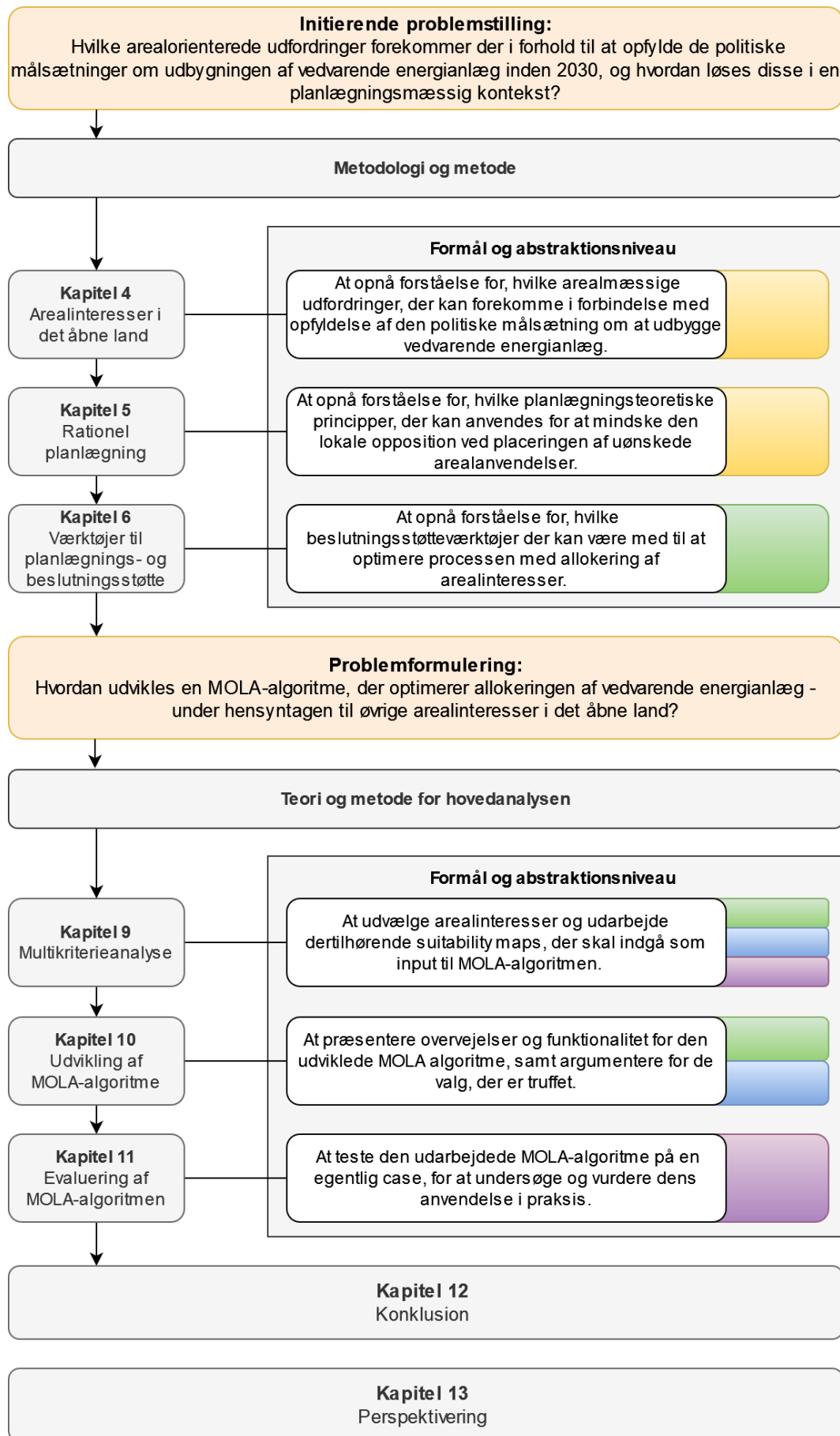
I projektets hovedanalyse besvares den opstillede problemformulering i tre kapitler med henblik på, at modellere det afgrænsede problemfelt, der omfatter allokering af arealinteresser i det åbne land. Denne del af projektet indledes med en teoretisk og metodisk gennemgang af koncepterne 'Multi-objective land use allocation' (MOLA), multikriterieanalyse (MCA) og algoritmiske metoder, hvilket er en forudsætning for at forstå de afgrænsninger og valg, der foretages i de efterfølgende kapitler.

I det første kapitel (**kap. 9**) sættes de overordnede rammer for udarbejdelsen af suitability maps, der fungerer som de primære input til en MOLA-algoritme, som udvikles i dette projekt. Kapitlet er med til at understrege pointen om, at bevægelsen mellem de enkelte abstraktionsniveauer også forekommer i mindre skala. På trods af, at teksten ikke nødvendigvis afspejler det detaljeret, da multikriterieanalyserne er sekundære til udviklingen relateret til MOLA, så indgår der aspekter fra både det konceptuelle, logiske og fysiske niveau - fra klarlæggelse af, hvad der har indflydelse på arealinteressernes geografiske egnethed, til udviklingen af fysisk model, der inddrager geografisk data til at skabe suitability maps.

I det andet kapitel (**kap. 10**) præsenteres de grundlæggende designprincipper og funktionalitet for den udviklede MOLA-algoritme. Som det fremgår af figur 2.2 på næste side indgår der her to forskellige abstraktionsniveauer; konceptuel og logisk modellering. Eftersom der på dette tidspunkt i udviklingsprocessen udelukkende tages afsæt i testdata, så karakteriseres det endnu ikke som fysisk modellering.

I det tredje kapitel (**kap. 11**) afprøves den udviklede MOLA-algoritme på et udvalgt caseområde, med henblik på at vurdere dens anvendelighed i praksis og identificere eventuelle videreudviklingsmuligheder. Her præsenteres og evalueres således produktet af projektets fysiske model.

Projektet afsluttes med en overordnet konklusion (**kap. 12**) og en perspektivering (**kap. 13**), hvor problemstillingen vurderes i en bredere kontekst.



Figur 2.2. Projektstruktur, med angivet formål og abstraktionsniveau fra figur 2.1.

Metodologi og metode 3

I det følgende kapitel præsenteres de overordnede metodologiske og videnskabsteoretiske overvejelser, der er udgangspunktet for projektets videnskabelige tilgang til undersøgelsen af henholdsvis det initierende problem og problemformuleringen (jf. kapitel 7). Herefter reflekteres der over metoden for kvalitative interview, der er gennemgående for projektet. Dette gøres med udgangspunkt i en verificering i forhold til validitet og reliabilitet.

3.1 Videnskabelig tilgang

Projektet tager afsæt i Aalborgmodellens fundamentale princip om problembaseret læring, hvor en af forudsætningerne er, at den opstillede problemstilling er autentisk og videnskabeligt funderet [Aalborg Universitet, 2015, s. 4]. Auncitater refererer til hvorvidt projektets konklusioner er virkelighedsnære og har en relevans, der rækker udover universitets rammer. I forhold til videnskab forekommer der ikke en entydig definition, men i sin mest elementære betydning omfatter begrebet frembringelse af ny viden eller erkendelse [Munk-Hansen, 2018, s. 22]. Ifølge Kragh [2023] omfatter videnskab dog ikke blot generering af viden, men ligeledes processen med at udbrede den og videreformidle ens resultater:

"Videnskab er en almen betegnelse for systematiske metoder til at frembringe, ordne og udbrede viden og kunnen samt resultaterne af denne aktivitet og de organisationsformer og administrative enheder (som fag og discipliner), hvorunder den foregår." [Kragh, 2023]

Den ovenstående definition fremhæver således, at videnskab nødvendigvis må være af offentlig karakter - eksempelvis gjort tilgængeligt for almenheden gennem publikation i bøger, rapporter eller artikler. Baggrunden for dette er blandt andet at sikre, at der kan føres kontrol med de fremførte påstande [Kragh, 2023]. Et andet kriterium der opstilles ved afgrænsning af videnskab fra ikke-videnskab (demarkation) er, at konklusionerne kan defineres som objektive sandheder og være erkendbare for flere eller alle subjekter [Munk-Hansen, 2018].

"Videnskab tilstræber objektiv viden i den forstand, at videnskabelig erkendelse må være upartisk og intersubjektiv." [Kragh, 2023]

I henhold til Aalborg-modellen indebærer videnskabeligt arbejde at *"begribe, analysere og behandle problemstillingen teoretisk og metodisk"* [Aalborg Universitet,

2015, s. 4]. Her kan teori ifølge Den Danske Ordbog [2023a] defineres som et system af plausible og velbegrundede antagelser, der har til hensigt at forstå og forklare forskellige fænomener eller samspillet imellem dem. Metoder refererer til systematiske fremgangsmåder, der anvendes i forbindelse med problemløsning [Den Danske Ordbog, 2023b]. Opsummeret set er videnskab således generering og udbredelse af nye, objektive og intersubjektive erkendelser, der er funderet på systematiske, velbegrundede antagelser og fremgangsmåder.

Generelt forekommer der to overordnede tilgange til produktion af ny viden; induktion og deduktion. I induktive studier tages afsæt i observationer af et bestemt fænomen (empiri) med henblik på at udlede universelle sammenhænge eller mønstre - altså en slutning fra det specifikke til det generelle. Ved deduktion tages der derimod udgangspunkt i eksisterende teorier eller antagelser, der testes på konkrete observationer. [Holm, 2016, s. 25-26]

I dette projekt anvendes der i foranalysens første del (**kap. 4**) en induktiv tilgang, hvor der gennem litteratursøgning og indsamling af empiri i form af kvalitative interviews undersøges hvilke arealmæssige udfordringer, der forekommer i forhold til at nå målsætningerne om udbygningen af vedvarende energianlæg. Tilgangsvinklen er således eksplorativ uden en forudgående hypotese, da hensigten er at identificere problemstillinger i et genstandsfelt, der i øjeblikket er i konstant forandring.

I projektets hovedanalyse anvendes derimod en deduktiv tilgang, hvor der blandt andet tages afsæt i teori om multi-objective land use allocation (MOLA), multikriterieanalyse og algoritmiske metoder med henblik på at teste disse generelle antagelser relateret til allokering af arealinteresser på en konkret case (**kap. 9 og 11**). Dette gøres for at evaluere produktet af metodeudviklingsdelen; MOLA-algoritmen (**kap. 10**) - både i forhold til dens anvendelighed i praksis og forslag til videreudviklingsmuligheder.

3.2 Videnskabsteori

Videnskabsteori er "*en filosofisk disciplin, der studerer videnskabernes metoder, sandhedskriterier og forudsætninger*" [Munk-Hansen, 2018, s. 21]. Inden for området findes en lang række forskellige retninger; positivisme, hermeneutik, fænomenologi, mv., der alle er et udtryk for en given verdensanskuelse. Det er således væsentligt at afklare det videnskabsteoretiske ståsted for det givne studie, da retningerne bygger på forskellige epistemologiske udgangspunkter, der har betydning for hvordan man forholder sig til produktion af viden - herunder valget af teori og metoder til løsning af den pågældende problemstilling. [Schmidt og Løgstrup, 2022]

I dette projekt arbejdes inden for det positivistiske verdenssyn, der har sit udspring fra filosofen Augustus Comte i 1800-tallet [Ahrenkiel, 2020]. Positivismen har afsæt i en objektiv, kausalt funderet virkelighed - ud fra tesen: al erkendelse er erfaringsbaseret. Ræsonnementer forankret i irrationelle elementer som intuition og følelser er derfor sekundære til det objektive, logiske og faktuelle [Hansen, 2022].

Valget af det videnskabsteoretiske ståsted har nødvendigvis indvirkning på, hvordan den opstillede problemformulering gribes an. I dette projekt tages der eksempelvis i kapitel 5 udgangspunkt i teorier om det rationelle planlægningsparadigme i forhold

til at undersøge, hvorvidt principperne herfra kunne medvirke til løsning af de arealmæssige udfordringer, der forekommer ved placering af vedvarende energianlæg. Dette er således teorier, der udspringer fra et positivistisk verdenssyn [Allmendinger, 2009]. Hvis det epistemologiske udgangspunkt i stedet havde været postpositivistisk, ville det således være mere oplagt at fokusere på planlægningsteorier relateret til public participation, deliberation mv., eftersom denne videnskabsteoretiske retning i en planlægningsmæssig kontekst er orienteret mod koordinering af handling gennem diskussion og kommunikation med de involverede aktører. [Innes, 1996]

3.3 Kvalitative interviews

Ifølge Kvale og Brinkmann [2015] er formålet med anvendelsen af kvalitative forskningsinterviews, at *"forstå verden ud fra subjekternes synspunkter, udfolde betydningen af deres oplevelser og afdække deres levede verden forud for videnskabelige forklaringer"*. Hertil skal der være bevidsthed om, at respondenter ikke kan anses som objekter, der er styret af kausale lovmæssigheder, men at de derimod udtrykker subjektive synspunkter, som er påvirket af diskurser, ideologier og magtrelationer [Kvale og Brinkmann, 2015, s. 19]. Den kvalitative tilgang er induktiv og medfører en høj grad af fortolkning, sammenlignet med den kvantitative tilgang der i stedet har høj generaliserbarhed og er mere objektiv [Aarhus Universitet, 2023].

I dette projekt er der afholdt tre kvalitative forskningsinterviews for at opnå viden inden for gældende og fremtidig arealforvaltning af det åbne land. Projektgruppen har udvalgt tre interviewrespondenter på baggrund af forskellige parametre, hvoraf et væsentlig aspekt er, at respondenterne skal besidde en vis faglig viden inden for emnet. Af den grund har alle respondenterne en forskeruddannelse, der vedrører arealforvaltning af det åbne land. Interviewformen udspringer således fra den etnografiske kontekst med faktuelle interviews, som generelt er mere saglige og beskrivende end følelsesmæssigt funderet. Ved denne metode er målet derfor at få adgang til valid information inden for fagområdet, fremfor generelle meninger [Kvale og Brinkmann, 2015, s. 138]. De tre respondenter fremgår af tabel 3.1.

Respondent	Profession/arbejdsområde	Dato	Form	Tid
Karsten L. Willeberg-Nielsen	Landinspektør v. Mølbak Landinspektører A/S Fokus på det åbne land, og har skrevet ph.d. inden for emnet	27.02.23	Online	1:33
Esben Munk Sørensen	Tidligere forsker på Aalborg universitet, cand.geom. Fokus på arealforvaltning og udvikling af det åbne land	01.03.23	Fysisk	1:08
Henrik Vejre	Professor på Københavns Universitet Fokus på landskabsarkitektur og planlægning	03.03.23	Online	0:31

Tabel 3.1. Oversigt over respondenter, deres profession, dato for interview, form og varighed af interviewundersøgelsen.

Interviewene anvendes især gennem projektets indledende analyse og har til formål at supplere aktuel litteratur på området. Arealforvaltningen af det åbne land er i konstant forandring, og i de seneste år er der indført forskellige politiske tiltag der gør, at litteratur inden for emnet i en vis udstrækning er forældet. Af samme årsag skal interviewene bidrage med overvejelser vedrørende de seneste tendenser, målsætninger og udfordringer, der vedrører den nuværende og fremtidige arealforvaltning af det åbne land.

3.3.1 Interviewdesign

De tre respondenter er, foruden uddannelsesniveau, udvalgt på baggrund af deres interesse for, hvordan de forskellige arealinteresser kan kombineres og implementeres i det åbne land med overvejelser om, hvorvidt der kan findes plads til de arealkrævende politiske målsætninger, der er opsat. Her er det en fællesnævner, at alle respondenterne er fortalere for, at flere funktioner kan opfyldes på samme sted. Dog er der også tilfælde, hvor respondenternes svar og fokusområder afviger fra hinanden. Eksempelvis giver hver af de tre respondenter forskellige udtryk for hvordan den fremtidige prioritering for det åbne land skal være, samt hvor meget borgerinddragelse der i fremtiden kan være plads til. De forskellige svar og tankegange illustrerer netop pointen om, at kvalitative forskningsinterviews ikke er objektive, men derimod subjektive, hvor forskellige diskurser og ideologier påvirker de individuelle respondenter. Parametre, der kan påvirke de enkelte respondents svar kan eksempelvis være deres beskæftigelse. Den ene respondent Karsten L. Willeberg-Nielsen er ansat i et privatpraktiserende landinspektørfirma, hvor han igennem den private sektor vedligeholdt sin viden inden for det åbne lands planlægning. Omvendt har de to øvrige respondenter i højere grad tilegnet og opretholdt deres viden gennem hver deres forskerstillinger på henholdsvis Aalborg og Københavns Universitet.

Interviewene er alle afholdt som semistrukturerede, hvor der på forhånd var udarbejdet en række spørgsmål, der var inddelt i overordnede emner, og som kunne stilles uafhængig af den opsatte rækkefølge. Dette skaber en fleksibilitet, og mulighed for at variere i rækkefølgen, således at spørgsmålene tilpasses samtalsgang. Semistrukturerede interview giver endvidere mulighed for at stille supplerende og uddybende spørgsmål således, at emner kan behandles yderligere. Ved udarbejdelse af spørgsmål forud for et interview, sikrer intervieweren i højere grad, at interviewet holder sig inden for nogle fastsatte rammer. Dette skiller sig ud fra den ustrukturerede tilgang, hvor der kun er fastsat overordnede emner for interviewet, som ellers baseres på en åben dialog. [Møller og Harrits, 2021]

Projektgruppen har gennem alle tre interviews gjort brug af muligheden for at ændre rækkefølgen af spørgsmålene - ofte i situationer hvor respondenter i et svar har skiftet emne, der gjorde det oplagt at stille et senere planlagt spørgsmål. Flere af spørgsmålene bliver gentaget i de tre interviewes, eftersom der ikke findes entydige svar på disse spørgsmål, og grundet bevidstheden om, at de enkelte respondenter er påvirket af forskellige faktorer og forhold der kan have indvirkning på svarene. Dette medfører også, at projektgruppen får flere refleksioner og perspektiver på et emne, hvilket i højere grad giver mulighed for analyse og diskussion. Nogle af fokusområderne og spørgsmålene er dog også tilpasset de enkelte respondenter - eksempelvis fik Henrik Vejre i højere grad mulighed for at uddybe spørgsmål vedrørende borgerinddragelse, da han er medforfatter på en bog betegnet 'dialogbaseret planlægning i det åbne land'.

3.3.2 Verificering

I det følgende vil udvalgte pointer i relation til verificeringen af interviewene blive gennemgået, hvortil overvejelser vedrørende validitet og reliabilitet vil blive behandlet nærmere.

Validitet

Validitet vedrører gyldighed, og når et interview skal undersøges i forhold til validitet, afsøges det hvorvidt der i interviewet undersøges det som der påstås at undersøge [Kvale og Brinkmann, 2015, s. 318]. I forbindelse med interviewarbejde kan validering foregå i forskellige faser - eksempelvis ved transskribering, hvor spørgsmålet er, om transskriptionen af et interview er en gyldig oversættelse heraf. Valideringen kan også foregå under selve interviewet. Under interview refererer validitet til *" troværdigheden af subjektets rapporter og kvaliteten af interviewet, der skal omfatte en omhyggelig udspørgning med hensyn til betydningen af det der siges "*. [Kvale og Brinkmann, 2015, s. 320]

I det følgende er der udtaget et uddrag fra interviewet med professor Henrik Vejre, hvor interviewer stiller uddybende spørgsmål, da betydningen af et udsagn er uklart, eftersom respondenteren beskriver en forfordeling af natur fremfor øvrige arealinteresser:

Henrik Vejre: *" Hvis nu vi gør alle arealinteresserne op, og vi skal tage 20% ud til natur, som der ikke længere skal røres ved, så har vi derefter en rest, og hvad skal vi så bruge den til? Vi har behov for at afsætte areal til natur helhjertet, hvor det får lov til at udvikle sig i fred og ro. Derefter har vi så en rest tilbage, som så kan bruges til vedvarende energi, skovbrug og landbrug osv."*

Interviewer: *" Tænk du så, at natur skal prioriteres over vedvarende energi?"*

Henrik Vejre: *" Nej, jeg tænker ikke det skal prioriteres over, men de kan ikke ligge det samme sted. Hvis vi skal løse biodiversitetskrisen, så er det nødvendigt at have store sammenhængende naturarealer. . . . Men det typiske er bare, at når der er konflikter, så er det sjældent at det er naturen, der vinder."* [Bilag C]

Under interviewet blev det vurderet, at den uklare forståelse for hvorvidt natur skulle prioriteres højere end andre arealinteresser, var væsentligt at få afklaret og at det således var nødvendigt med et opfølgende spørgsmål. Dette skyldes, at projektet netop behandler prioritering og placering af forskellige arealinteresser. Ved at stille et uddybende spørgsmål blev det således uddybet, at natur ikke skal prioriteres højere end andre arealinteresser, men at det er en arealinteresse, der er svær at kombinere med andre.

Ifølge Kvale og Brinkmann [2015] er det at stille opfølgende spørgsmål også en parameter for interviewkvalitet, hvortil det er væsentligt, at interviewerens løbende får verificeret sine fortolkninger under interviewet. Dette illustreres også med overstående eksempel, hvor interviewerens fortolkning var, at natur skulle prioriteres over øvrige arealinteresser.

Reliabilitet

Reliabilitet beskæftiger sig med pålideligheden, troværdigheden og konsistensen af forskningsresultater. I forbindelse med interviews, undersøges reliabilitet ud fra muligheden for, at svar kan reproducere af andre forskere inden for samme fagområde eller på et andet tidspunkt. Hertil skal det dog noteres, at formulering af spørgsmål kan påvirke svaret. Eksempelvis kan et spørgsmål stilles mere ledende, hvilket kan medføre forskellige svar. [Kvale og Brinkmann, 2015, s. 318, 411]

Spørgsmålet om reliabilitet gør sig også gældende under afholdelse af interviewene. Som nævnt er flere spørgsmål stillet til forskellige fagpersoner, hvilket har medført forskellig respons. Dette kan dog skyldes flere ting - dels kan tidligere dialog påvirke respondenternes svar, og dels så er respondenterne individuelle subjekter, hvortil deres baggrund og viden, eller mangel på samme, påvirker deres verdenssyn. Desuden så er spørgsmålene subjektive, hvortil der ikke er et entydigt svar. Under et af interviewene gør professor Henrik Vejre selv opmærksom på overvejselen vedrørende reliabilitet, idet han forklarer, at han har sin holdning til emnet, mens han understreger, at projektgruppen ville få et andet svar hvis hans kollegaer skulle besvare spørgsmålet. Spørgsmålet omhandler fremtidig borgerinddragelse og er angivet herunder:

Interviewer: *"Kan man i fremtiden inddrage borgere i beslutningstagen på samme måde som man hidtil har kunne - altså nu, hvor vi står overfor arealudfordringer?"*

Henrik Vejre: *"Altså nu spørger I jo mig. Jeg vil sige, at hvis I spørger nogle af mine kollegaer, så vil I få et andet svar. Fordi jeg er i vores faggruppe kendt for at være centralisten i forhold til nogle af mine kollegaer, som er meget decentralt orienterede."* [Bilag C]

Henrik Vejre gør det altså klart, at der er forskellige svar til det samme spørgsmål, hvortil han forklarer sin og sine kollegaers forskellige verdenssyn. Reliabiliteten af det stillede spørgsmål er dermed ikke særlig stærk, men bidrager til refleksion og perspektiver til projektet.

Del I

Foranalyse

Arealinteresser i det åbne land 4

I det følgende kapitel vil den første del af den initierende problemstilling undersøges, hvor der ses nærmere på de udfordringer, der kan forekomme i forbindelse med at opfylde den politiske målsætning om at udbygge vedvarende energianlæg.

I kapitlet gennemgås først de politiske planer, der er udarbejdet i forbindelse med målsætningen, for at opnå en grundlæggende forståelse herfor. Dernæst udfoldes nogle af de problemstillinger, der kan følge ved udbygningen af vedvarende energianlæg. Dette opdeles i to dele, hvor der først ses nærmere på den manglende arealressource i det åbne land med afsæt i en gennemgang af landets nuværende arealanvendelse - fulgt op af en diskussion af, hvorvidt tiltag, såsom multifunktionel arealanvendelse og lempelse af arealrestriktioner, kan agere som mulige virkemidler til at løse problemstillingen. Dernæst ses der nærmere på lokal opposition mod vedvarende energianlæg, som også kan være begrænsende for opførelse af anlæggene. I den forbindelse undersøges, hvilke faktorer som kan medvirke til at sikre en succesfuld lokal projektfremdrift.

4.1 Politisk dagsorden for etablering af vedvarende energianlæg

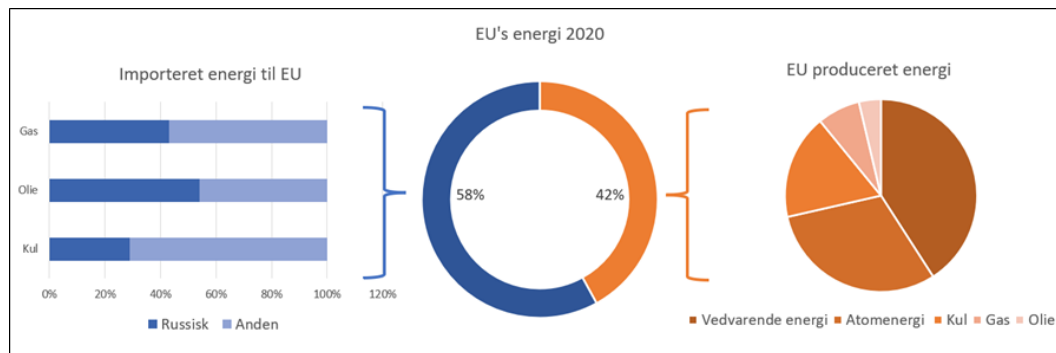
Som følge af det presserende behov for etablering af vedvarende energianlæg, blev der i 2022 udarbejdet flere politiske planer og aftaler for hvordan Danmarks areal i fremtiden skal tilgodese målsætningen om at udbygge den grønne energi for fremadrettet at være uafhængig af russisk gas. I det følgende vil de politiske overvejelser vedrørende udbygningen af vedvarende energianlæg undersøges nærmere.

4.1.1 Planer og aftaler for udbygningen af vedvarende energianlæg

Krigen i Ukraine startede februar 2022 og i marts besluttede EU at udfase unionens afhængighed af russiske fossile brændsler. I 2020 var 42% af EU's energi egenproduktion, mens 58% var importeret, hvor en stor del udgjorde import fra Rusland [Det Europæiske Råd, 2022]. Fordelingen af EU's energi fra 2020 fremgår af figur 4.1 på den følgende side.

Danmark var i 2021 selvforsynende med 55% af energiforbruget, bestående af hovedsagelig naturgas, råolie og vedvarende energi. Sidst Danmark var selvforsynende med energi var i 2012, hvilket ikke længere er tilfældet da

Danmarks olie og gasfelter med tiden er blevet nedlukket. [Energistyrelsen, 2022; Miljøministeriet, 2020]



Figur 4.1. EU's energifordeling, hvor importeret energi udgør 58% og egenproduceret energi udgør 42%. Desuden er de enkelte energiformer angivet under hhv. importeret og EU produceret energi [Det Europæiske Råd, 2022].

Som følge af beslutningen om at udfase russiske brændsler, udarbejdede regeringen i april sidste år publikationen *Danmark kan mere II*, som har til formål at sætte rammerne for at opnå uafhængighed af russisk gas, samt at gøre Danmarks energiproduktion grønnere. Publikationen udmøntede sig i en klimaaftale, samt en opfølgning og evaluering af planloven, som begge udkom i juni 2022.

Klimaaftalen er en indgået aftale mellem størstedelen af Folketingets partier, der konkretiserer målsætningerne for udbygningen af vedvarende energi. I aftalen er der blandt andet fastsat målsætninger om udbygning af havvindenergi, som dels skal udvikles på den korte bane inden 2030 og på den lange bane inden 2050, hvor produktionen skal være 15 gange så stor som i 2022. Således kan Danmark i fremtiden producere en mængde energi, der kan bidrage med vedvarende energi til øvrige EU-lande. Foruden udbygningen af havenergi, er der også fastsat en aftale om at udbygge vedvarende energianlæg på land, hvor den nuværende produktion skal firedobles frem mod 2030. Vedvarende energianlæg på land er billigere og hurtigere at opstille, hvilket er fordelagtigt for hurtigst muligt at blive uafhængig af russisk gas. Målsætningen om at firedoble produktionen af vedvarende energi på land, kan blandt andet opnås ved at tidoble den eksisterende kapacitet af solceller og samtidig fordoble kapaciteten af landvindenergi. For at opnå dette, er der blandt andet afsat midler til screening af områder, der kan være egnede til produktion af vedvarende energi. Selve udbygningen af vedvarende energianlæg forventes dog at kunne opføres uden støtte. [Regeringen, m.fl., 2022a]

Opfølgningen og evalueringen af planloven blev udgivet 10 dage inden indgåelsen af klimaaftalen i 2022, og er også nævnt i klimaaftalen. Opfølgningen på planloven blev udmøntet i et ændringsforslag, der på nuværende tidspunkt er under behandling. Den nye lov forventes at træde i kraft d. 1. juli 2023. En af ændringerne er, at klima skal prioriteres på samme niveau som miljø og begrebet indskrives derfor i lovens formålsparagraf. Overordnet er det hensigten, at planloven i fremtiden skal fokusere mere på udviklingen af vedvarende energianlæg og at der skabes klare rammer herfor. Desuden skal det i fremtiden være muligt at opsætte både solceller og vindmøller på herregårds- og godslandskaber. [FT 2022-23, 2. samling (L 36), till. A]

Landsplanredegørelsen

Det daværende Indenrigs- og Boligministerium udarbejdede i september et forslag til en ny landplanredegørelse, som fokuserer på planlægningen af vedvarende energi, og har til formål at løfte en del af den opgave, som kommunerne har fået stillet vedrørende udbygning af vedvarende energianlæg. Forslaget til landsplanredegørelsen behandler forskellige emner - heriblandt de udfordringer, der er forbundet med planlægning af vedvarende energianlæg, samt hvordan der i fremtiden skal fokuseres på mere målrettet og effektiv planlægning. [Indenrigs- og Boligministeriet, 2022]

Forslaget til landplanredegørelsen blev aldrig vedtaget, da høringen blev indstillet som følge af, at der i oktober blev udskrevet valg til Folketinget. Landinspektør Karsten L. Willeberg-Nielsen forklarer dog under interviewet, at han forventer, at forslaget til landplanredegørelsen bliver taget op igen af den nye regering, eftersom denne regering har samme ambitioner inden for området. [Bilag A]

Som følge af regeringsskiftet er ansvaret for landsplanen dog overgået fra det tidligere Indenrigs- og Boligministerium til Kirkeministeriet [Kirkeministeriet, 2023]. Dette møder kritik af fhv. forsker Esben Munk Sørensen, da han mener, at landsplanen burde placeres i et stærkere ministerium. [Bilag B]

Forhenværende direktør for dansk byplan laboratorium Ellen Højgaard Jensen, stiller sig også kritisk overfor den måde landsplanredegørelsen er håndteret. I aftalen om opfølgning og evaluering af planloven blev det noteret, at kravet om at indenrigs- og boligministeren skal udarbejde en landsplanredegørelse efter et folketingsvalg udgår fra planloven. Hertil pointerer Ellen Højgaard Jensen følgende:

"Hvis man ikke tager landsplanredegørelsen alvorligt, så kan man lige så godt afskaffe det. Det er fint at skrive klima ind i formålsbestemmelsen, men det er svært at komme i gang med løsningerne, hvis ikke man på landsplan udstikker rammerne." [Dansk Byplanlaboratorium, 2022]

Esben Munk Sørensen understreger også væsentligheden af en landsplanredegørelse - især i en tid, hvor der er efterspørgsel af det danske areal:

"Hvis arealpuslespillet skal løses effektivt med nogle håndterbare procedurer, så er man nødt til at lave en stærk landsplan."

- Esben Munk Sørensen, fhv. forsker

Flere fagpersoner understreger altså behovet for en landsplan, der dog fortsat må lade vente på sig hos Kirkeministeriet, som må vurdere om det udarbejdede forslag skal vedtages og sendes videre til høring eller eventuelt ændres.

De store fremtidige energiparker kræver plads i det åbne land og ifølge daværende indenrigs- og boligminister, Christian Rabjerg Madsen, kræver det et samlet areal, der er på størrelse med Mors - hvilket svarer til knap 360 kvadratkilometer. [Regeringen, 2022b]

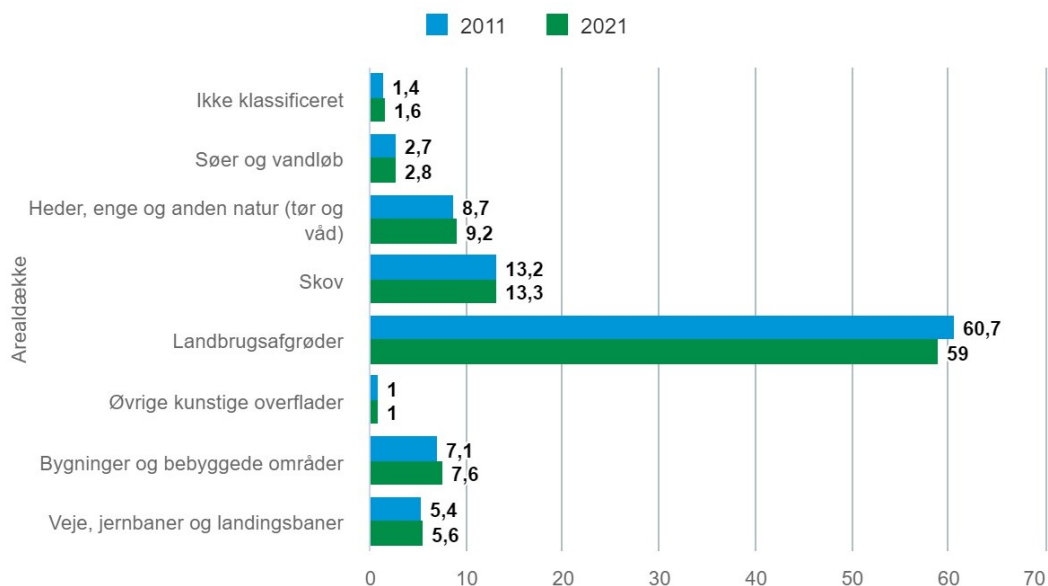
Netop de udfordringer der er forbundet med at finde plads til vedvarende energianlæg belyses i udkastet til den nye landsplanredegørelse. Heri beskrives det blandt andet, at både vindmøller og solcelleanlæg er svære at placere i det åbne land, og at de arealkrævende energianlæg kan komme i konflikt med andre arealinteresser. [Indenrigs- og Boligministeriet, 2022]

I det følgende vil der derfor ses nærmere på hvilke arealinteresser, der i dag fylder det danske areal, samt belyse den manglende arealressource, der er gældende for det åbne land.

4.2 Manglende arealressource i det åbne land

Næsten hele Danmarks areal er noteret med en arealanvendelse, som det fremgår af figur 4.2. Ifølge Danmarks Statistik [2021] blev størstedelen af arealet i 2021 anvendt til landbrugsproduktion, hvilket udgjorde 59%, mens skov havde det næststørste arealdække på 13,3%. Generelt ses det på figur 4.2, at landbrugsarealet er faldet siden 2011, mens skov og de øvrige naturområder er steget. Det ses desuden, at bebyggede områder, samt diverse infrastruktur også er steget i areal siden 2011. Som beskrevet i projektets indledning, forventes det at både bebyggede områder samt infrastruktur vil stige i areal i fremtiden, i takt med øget vækst.

Foruden bebyggede områder og infrastruktur, er der også andre arealanvendelser, der i fremtiden står til en udvidelse - i hvert fald hvis der ses nærmere på de politiske planer, der er sat for fremtidens arealanvendelse. I det følgende vil der ses nærmere på målsætningerne for de tre største arealanvendelser i det åbne land; landbrug, skov og natur, som udgjorde hhv. 59%, 13,3% og 9,2% i 2021.



Figur 4.2. Procentvis fordeling af arealdække for Danmarks samlede areal - inklusiv ikke-matrikuleret areal [Danmarks Statistik, 2021].

Skov

I 1989 blev der udarbejdet en politisk erklæring om at fordoble det danske skovareal i løbet af en trægeneration, hvilket svarer til 80-100 år. I 2002 blev der udarbejdet et nationalt skovprogram, hvortil ét af formålene var at skovarealet skal forøges, således at det dækker 20-25% af Danmarks areal, hvilket også skal opnås inden for tidsrammen af en trægeneration. Det nationale skovprogram blev revideret i 2018, hvortil målsætningen om forøgelsen af skovarealet er videreført, og dermed skal være opnået inden udgangen af det 21. århundrede. [Miljø- og Fødevareministeriet, 2018, s. 10-13]

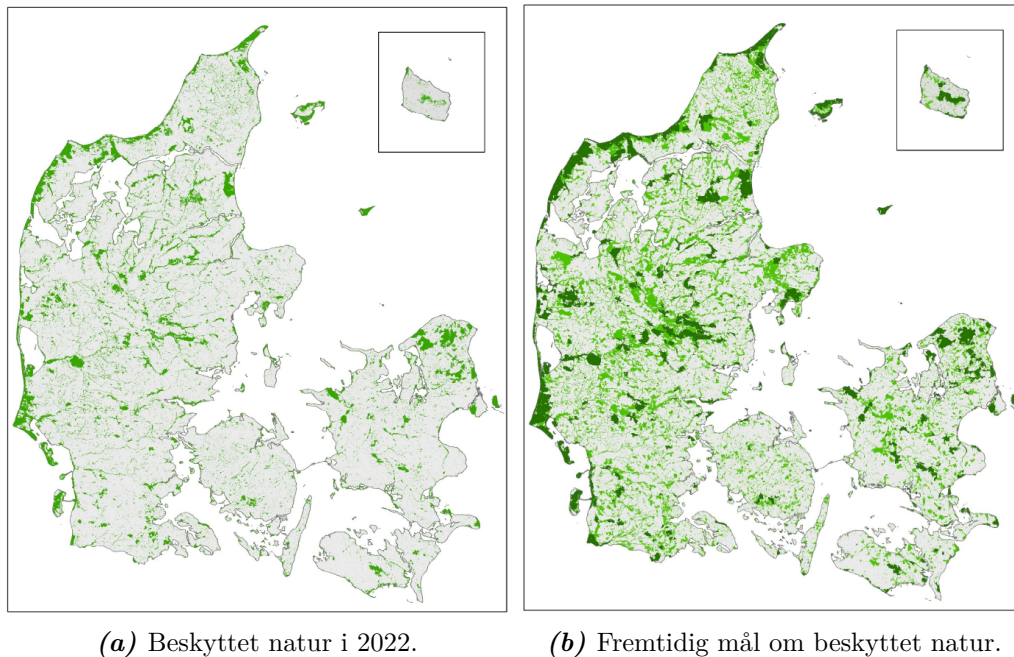
Med udgangspunkt i figur 4.2 på foregående side, hvor der tages afsæt i arealfordelingen i 2021, skal skovarealet således øges med 6,7 - 11,7 procentpoint inden for de næste knap 80 år for at indfri målsætningerne.

Natur

I december 2022 afholdte FN en biodiversitetskonference, COP15 i Montreal, hvor FN's medlemslande var samlet for at indgå en global aftale, der skulle skabe bedre forudsætninger for natur og biodiversitet. Ved konferencen blev der sat et mål om, at 30% af verdens natur skal beskyttes inden 2030, hvilket indebærer at der både skal beskyttes 30% natur på land og 30% på havarealer. 10% af verdens areal skal endvidere være strengt beskyttet. Ifølge Ejrnæs et al. [2022] mangler EU til sammen yderligere 4% beskyttet natur på land, og 19% på hav. Med udgangspunkt i, at der på et EU-niveau blot mangler 4% beskyttet natur på land, for at opnå de 30%, kan det ud fra figur 4.2 på forrige side udledes, at Danmark har mindre beskyttet natur end gennemsnittet for de øvrige EU-lande.

Målsætningen om at beskytte 30% natur, og gøre 10% strengt beskyttet, var dog allerede inden FN's biodiversitetskonference blevet behandlet på EU-niveau gennem en biodiversitetsstrategi fra 2020 [Europa-Kommissionen, 2020]. På baggrund af EU's aftale om biodiversitetsstrategien, udarbejdede Ejrnæs et al. [2022] i oktober 2022 en rapport, som behandlede Danmarks potentiale for at reservere 30% af landet til beskyttet natur. Hertil blev der udarbejdet to kort - et der omfatter beskyttet natur i 2022, og et andet kort, der illustrerer et danmarkskort, hvor 30% af arealet er beskyttet natur, hvoraf de 10% er strengt beskyttet. Kortet, der angiver 30% beskyttet natur er udarbejdet på baggrund af forskellige parametre, blandt andet bioscore og sammenhængende naturarealer, samt udpegning af kulstofrige jorde til udtagning til lavbundsjorder. [Ejrnæs et al., 2022]

De to kort fremgår af figur 4.3, hvor der ses en betydelig forøgelse af arealer, der skal udlægges som beskyttet natur. Lavbundsjorder indgår under kategorien 'natur', og har en særskilt målsætning, da der i 2021 blev indgået en politisk aftale om at udtage 100.000 ha lavbundsjorder, for at mindske landbrugets udledning af CO². [Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri, 2022]



Figur 4.3. Grøn markerer beskyttet natur, mens mørk grøn markerer de 10% strengt beskyttet natur [Ejrnæs et al., 2022].

Landbrug

Som angivet på figur 4.2 på side 24, udgjorde landbrugsafgrøder i 2021 landets største arealanvendelse. På figuren er landbrugsarealet den eneste arealinteresse, der er mindsket i areal, mens størstedelen af de øvrige arealinteresser er øget. Ifølge Skriver og Larsen [2020] toppede det danske landbrugsareal i 1930'erne, hvor det udgjorde 76% af landets areal, hvorefter det gradvist er reduceret - det danske landbrugsareal er dermed faldet med 17 procentpoint siden 1930'erne.

I alt producerer det danske landbrug fødevarer til omkring 15 millioner mennesker, hvilket dermed svarer til knap tre gange Danmarks befolkningstal [Skriver og Larsen, 2020]. Danmark eksporterer dermed størstedelen af de producerede fødevarer, hvilket selvsagt indebærer, at der er andre lande der ikke producerer fødevarer, som svarer til landets forbrug. Norge står eksempelvis i omvendte situation end Danmark, hvor kun 3,5% af landets areal anvendes til landbrugsproduktion, hvilket skyldes landets topografi. Dette indebærer, at 60% af Norges fødevarerforbrug dækkes af import. [Bregnhøj og Mikkelsen, 2022; Danmarks Statistik, 2020]

Andre lande er dermed afhængige af danske fødevarer - i hvert fald, hvis der forbruges fødevarer på samme vis som på nuværende tidspunkt. Ifølge EU skal verdens fødevarerproduktionen fordobles inden 2050, for at sikre fødevarer nok til at understøtte verdens befolkningstilvækst [Den Europæiske Union, 2017]. Hertil kan det overvejes om Danmark med sin særligt dyrkbare landbrugsjord i højere grad bør være forpligtede til at producere fødevarer. Ifølge lektor for molekylærbiologi Just Jensen er det ikke umuligt at brødføde verdens befolkning på en bæredygtig måde, samtidig med, at der fortsat er en vis kødproduktion - men det kræver, at ressourcer skal udnyttes bedre og at der i fremtiden produceres flere kilo fødevarer per hektar. [Institut for Molekylærbiologi og Genetik, 2023]

4.2.1 Multifunktionel arealanvendelse

Ud fra overstående gør det sig klart, at der er en problematik i forhold til, hvordan de arealkrævende arealinteresser i det åbne land skal prioriteres for at indfri de opsatte målsætninger. I en rapport af Fonden Teknologirådet et al. [2017] fremgår det, at multifunktionel arealanvendelse, hvor flere arealinteresser forenes og kombineres på samme arealer, kan være en del af løsningen. I rapporten fremgår det eksempelvis, at naturpleje eller andre former for ekstensiv landbrug kan udvikles til en rentabel driftsform således, at græssende dyr anvendes til fødevareproduktion samtidig med, at de udgør naturpleje på beskyttede naturarealer. Det gøres dog samtidig klart, at der er flere funktioner, der ikke kan eller bør kombineres - eksempelvis er det ikke realistisk at have et rigt plante- og dyreliv på de selvsamme arealer, hvor der drives intensivt landbrug.

Dette understreger fhv. forsker Esben Munk Sørensen også under interviewet, hvor han forklarer, at det kræver robust planlægning at løse arealudfordringerne, og at problematikken ikke udelukkende kan løses ved multifunktionalitet. Nogle arealinteresser kan integreres, mens andre skal være monofunktionelle. [Bilag B].

Regeringen, m.fl. [2022a] peger på multifunktionalitet som en del af løsningen - eksempelvis pointeres muligheden for at opstille solcelleanlæg på lavbundsjorder, for netop at varetage både jordbrugs- og naturinteresser. Desuden nævnes det også kort, at placering af solceller skal screenes i forhold til områder med særlige drikkevandsinteresser. [Regeringen, m.fl., 2022a, s. 5-7]

Ifølge formand for vandsamarbejdet i Skanderborg, Kim Mortensen, er det oplagt at placere solceller i områder, hvor der er drikkevandsinteresser. Hertil pointeres det, at arealerne udnyttes mere optimalt ved placering af solceller, eftersom landmænd ikke har muligheden for at dyrke arealerne lige så optimalt uden brug af pesticider. [Hansen, 2021]

En anden mulighed for at kombinere solceller i multifunktionel anvendelse, er ved at opføre solceller således, at der fortsat kan dyrkes afgrøder på jorden. Denne type arealanvendelse er under forskning i EU-projektet Hyperfarm. [Institut for Mekanik og Produktion, 2021]

I klimaaftalen er aftalepartierne blevet enige om at afsætte midler til en støtteordning, der skal fremme vedvarende energianlæg på mindre tilgængelige arealer, såsom større tagflader. Fordelen herved er, at energien kan produceres inden for byzone, der hvor strømmen forbruges og anlæggene inddrager endvidere ikke arealer, der anvendes til øvrige formål. [Regeringen, m.fl., 2022a, s. 9-10]

Nogle af de ulemper, der er ved placering af solceller på tagflader er, at det i højere grad er teknisk udfordrende, sammenlignet med markarealer, og samtidig er de gennemsnitlige omkostninger pr. solcelleenhed dyrere for små og mellemstore anlæg, sammenlignet med store markanlæg. [Indenrigs- og Boligministeriet, 2022, s. 9]

Landinspektør Karsten L. Willeberg-Nielsen udtaler i interview, at der er behov for en multifunktionel arealanvendelse i de tilfælde *“hvor der er en lang række arealinteresser, der presser sig på, og som umiddelbart er svære at prioritere”* [Bilag A]. Af samme årsag kan det netop være fordelagtigt at undersøge metoder, hvor flere arealinteresser kan kombineres. Desuden pointerer Karsten L. Willeberg-Nielsen, at

det åbne land generelt bør være mere multifunktionel, og at der bør ses nærmere på hvordan der i fremtiden kan prioriteres til mere end blot skov- og landbrug:

“Spørgsmålet er, om vi kan videreudvikle kommuneplanlægningen for det åbne land, så det kan varetage en mere multifunktionel eller divers dagsorden, hvor det ikke kun handler om at beskytte de gode arealer til landbruget og skovbruget, men hvor det tværtimod handler om at opretholde en effektiv husdyr og planteproduktion i Danmark, samtidig med at kan producere energi, videreudvikle ny natur, øge biodiversiteten, og så videre.”

- Karsten L. Willeberg-Nielsen, landinspektør

Foruden multifunktionalitet som en del af løsningen, behandler størstedelen af de politiske planer muligheden for at lempe nogle af de arealbegrænsninger, der i dag hindrer opførelsen af vedvarende energianlæg. Dette beskrives nærmere i det følgende afsnit.

4.2.2 Lempelse af arealbegrænsninger og landzoneadministrationen

Med udgangspunkt i tidligere nævnte planer om at øge produktionen af vedvarende energi, er det nærliggende at overveje, hvordan målsætningen skal realiseres. I størstedelen af planerne nævnes muligheden for at lempe nogle af de arealbegrænsninger, der i dag hindrer opførelsen af vedvarende energianlæg. Det beskrives blandt andet i klimaaftalen, at der skal udarbejdes en analyse, der undersøger beskyttelseslinjernes betydning for opførelse af vedvarende energianlæg. I klimaaftalen står det direkte beskrevet, at der er behov for at lempe på arealbegrænsningerne for at nå målsætningen om at firedoble sol- og landvindenergi. [Regeringen, m.fl., 2022a, s. 6-8]

Fhv. forsker Esben Munk Sørensen påpeger, at noget af det som lempelse kan medføre er, at der i fremtiden ikke vil være et uforstyrret landskab som der i en vis udstrækning er i dag, da vindmøller og solcelleanlæg dominerer visuelt i landskabet. Hertil skal det endnu engang noteres, at der i det nye forslag til ændring af planloven allerede er indarbejdet en bestemmelse om, at det i fremtiden skal være muligt at opføre vedvarende energianlæg i herregårds- og godslandskaber, jf. FT 2022-23, 2. samling (L 36), till. A.

Foruden lempelse af arealbegrænsninger, påpegede projektets interviewrespondenter, at den nuværende landzoneadministration burde være mere differentieret. Professor Henrik Vejre påpeger eksempelvis, at der i 1996 - da landet blev opdelt i de tre zoneinddelinger - burde være vedtaget både en landzone og naturzone, for således i højere grad at kunne prioritere naturområder. Hertil forklarer han, at landzonen er rettighedsgivende for land- og skovbruget, men at der gennem tiden er trukket nogle rettigheder tilbage gennem naturbeskyttelsesloven. Landinspektør Karsten L. Willeberg-Nielsen mener ligeledes, at der er behov for en mere nuanceret administration af det åbne land, men pointerer, at det kan indarbejdes i de nuværende

regler, da det er selve forvaltningen af reglerne, der ikke er differentieret nok. På nuværende tidspunkt gælder det, at der skal søges om landzonetilladelse for opsætning af solceller og vindmøller i det åbne land, idet landzonen er forbeholdt skov-og landbruket. [Indenrigs- og Boligministeriet, 2022, s. 16]

Spørgsmålet om, hvordan vi også skal få plads til 30% natur er et omdiskuteret emne og ifølge Henrik Vejre er netop den målsætning svær at finde plads til. Landinspektør Karsten L. Willeberg-Nielsen er dog mere optimistisk i forhold til at nå de forskellige målsætninger, men forklarer, at det kræver støtteordninger og at tilgangen til planlægning skal udvikles:

“Det at man udpeger et område i kommuneplanen til ny natur, gør ikke, at det kommer til at ske. Det betyder allerhøjest, at man får afslag til at etablere ny infrastruktur, nye bygninger og anlæg. Landmændene får eksempelvis ikke et højere tilskud til at rejse skov i de områder.”

“Jeg mener vi har gode muligheder i Danmark for at tilgodese de arealinteresser der er. Men det kræver, efter min opfattelse, at vi udvikler den fysiske planlægning som metode, og at vi er bedre til at koble støtteordninger og andre økonomiske virkemidler sammen med planlægningen.”

- Karsten L. Willeberg-Nielsen, landinspektør

Generelt lader Karsten L. Willeberg-Nielsen sig inspirere af Holland, som har haft succes med en mere progressiv tilgang til planlægning og forvaltning af det åbne land, der har været mere rationel og strategisk. Willeberg-Nielsen forklarer, at selvom Holland har et befolkningstal, der er omtrent tre gang større end det danske, så har landet alligevel formået at have en svineproduktion, samt landbrugsarealer, af tilsvarende størrelse som i Danmark. Dette skyldes blandt andet, at Holland har udpeget områder til landbrug, som samfundet har investeret penge i. Willeberg-Nielsen mener, at Holland har formået at lykkes med at tilgodese de mange arealinteresser, men at det har krævet høj økonomisk investering. [Bilag A]

Med udgangspunkt i de overstående afsnit kan multifunktionel arealanvendelse og lempelse af arealbegrænsninger være medvirkende til at kunne placere flere vedvarende energianlæg i det åbne land.

Ifølge Regeringen, m.fl. [2022a] er lokal opbakning også en væsentlig faktor for at kunne realisere udbygningen af vedvarende energi. Af samme årsag blev aftalepartierne i klimaaftalen enige om en række initiativer til at styrke lokal forankring, for således at mindske modstand mod projekterne. Netop den lokale modstand mod vedvarede energianlæg vil blive behandlet nærmere i det følgende, hvor det endvidere vil belyses hvad modstanden skyldes, og hvilke tiltag der kan medvirke til mindske opposition mod anlæggene.

4.3 Lokal opposition mod vedvarende energianlæg

Ved planlægning for placering af arealinteresser er en af de store udfordringer den lokale opposition mod 'locally unwanted land uses' (LULU), der blandt andet kan omfatte vedvarende energianlæg, forurenende fabrikker og store infrastrukturprojekter. [Schively, 2007] Lokal opposition mod placeringen af LULUs, tilskrives i mange tilfælde fænomenet 'Not In My Backyard' (NIMBY), der ifølge Oxford English Dictionary defineres som:

"[...] an attitude ascribed to persons who object to the siting of something they regard as detrimental or hazardous in their own neighbourhood, while by implication raising no such objections to similar developments elsewhere." [OED, 2023]

Her udgør den anden del af sætningen den primære faktor, der adskiller NIMBYism fra ren opposition, hvilket tydeliggør det paradoks der forekommer mellem den udbredte støtte blandt befolkningen til LULUs og den kraftige misbilligelse af implementeringen på det lokale plan [Firestone et al., 2012]. En fremstilling, der indikerer en prioritering af personlige behov højere end samfundsmæssige interesser og generelt associeres med negative termer som egoisme, uvidenhed og irrationalitet [Petrova, 2016].

I litteraturen er begrebet NIMBY følgelig blevet kritiseret for at fastholde et unuanceret billede af årsagerne og motivationen for modstand blandt lokale aktører [Wolsink, 2006; Ek, 2005]. Ifølge Devine-Wright [2013] bør der stilles spørgsmålstejn ved anvendelsen af et negativt ladet begreb, der uden skelnen miskrediterer og problematiserer indvendinger mod indgribende ændringer i lokale samfund.

NIMBY er ligeledes blevet kritiseret for at mangle et velfunderet teoretisk grundlag. Af den årsag er der ifølge Petrova [2016] brug for at undersøge og kategorisere de faktorer, som fører til succesfuld projektimplementering og lokal accept i forhold til placeringen af LULUs. For at organisere disse faktorer foreslås en mere nuanceret overordnet teoretisk ramme; VESPA, der kan inddeles i fire kategorier; visual/landscape, environmental, socioeconomic og procedural.

Visuelle og landskabelige forhold

En af de væsentligste faktorer, der bevirker modstand mod LULUs er de visuelle forstyrrelser af de lokale landskabelige kvaliteter. I artiklen af Petrova [2016] er der fokuseret på de negative visuelle konsekvenser forårsaget af vindmøller, som i litteraturen er blevet beskrevet med nedsættende udtryk som 'mekaniseret ukrudt'. Studier viser dog, at de eksisterende landskabelige karakteristika for det pågældende område har stor betydning for de lokale aktørers accept af forandringerne. I områder med et mere industrielt udtryk var der mindre sandsynlighed for opposition, hvorimod opstillingen af vedvarende energianlæg i landdistrikter hurtigt blev opfattet som en urbanisering af stederne [Devine-Wright, 2013].

Miljømæssige faktorer

Ved debatter, der omhandler placeringen af vedvarende energianlæg, er erfaringen, at både modstandere og tilhængere baserer deres påstande på miljømæssige argumenter - et fænomen der betegnes 'green on green' meningsudvekslinger. Hvor fortalene typisk vil påpege, at vedvarende energikilder mindsker udledningen af drivhusgasser og reducerer afhængigheden af fossile brændstoffer, fokuserer modstanderne på de lokale miljøforstyrrelser, der kan risikere at påvirke den lokale flora og fauna. [Petrova, 2016]

Socioøkonomiske faktorer

Forandringer relateret til jord- og ejendomsværdien, der opstår som konsekvens af placeringen af LULUs i nærmiljøet, har stor indflydelse på den lokale opposition mod implementeringen af projekter. De primære årsager skal tilskrives 1) at købet af fast ejendom for hovedparten af befolkningen uden sammenligning udgør den største investering i livet og 2) den subjektive fortolkning af hjemmet som en arena, der giver folk mulighed for at føle sig i kontrol. Dette bevirker, at individer som modtager økonomisk kompensation i forbindelse med ændringerne, i langt mindre grad udtrykker utilfredshed i forhold til de øvrige faktorer; miljømæssig degradering, visuel forurening mv. [Petrova, 2016]

Proceduremæssige aspekter

Forskningen viser generelt, at faktorer relateret til de beslutningsprocesser, der går forud for placeringen af vedvarende energianlæg, er fundamentale i forhold til accept af forandringer [Petrova, 2016; Poumadère et al., 2012]. Et centralt begreb i den sammenhæng er processuel retfærdighed, der bygger på principperne transparens, troværdighed, inddragelse og adgang til information [Petrova, 2016].

Af de ovenstående faktorer, er især de proceduremæssige aspekter interessante at undersøge, eftersom forskningen viser, at et øget fokus på processuel retfærdighed i planlægningsprocessen radikalt kan ændre den måde, hvorpå interessenterne oplever et givent udfald. [Petrova, 2016; MacCoun, 2005; Gross, 2007]

4.3.1 Processuel retfærdighed

Inden for socialpsykologisk forskning om retfærdighed arbejdes med to overordnede kategorier; distributions- og processuel retfærdighed. Hvor distributionsretfærdighed vurderes på baggrund af resultaterne (eksempelvis en ligelig fordeling af offentlige goder eller byrder), er processuel retfærdighed et subjektivt mål for interessenternes oplevelse af 'fairness' igennem beslutningsprocessen. [Gross, 2007; Smith og McDonough, 2001]

Undersøgelser viser i den forbindelse, at selve proceduren er fundamental, hvilket underbygges af citaterne på følgende side:

"People who feel that they have been treated fairly are more likely to accept the decisions resulting from the process, and also will be more likely to trust the institution making the decision" [Lind og Tyle, 1988]

"Procedures matter to citizens because fair procedures produce fair outcomes" [MacCoun, 2005, s. 182]

Dette fænomen, der betegnes 'the fair process effect', kan bevirke at de lokale aktører i højere grad vil acceptere negative resultater og samtidig stiller lavere krav til, hvad det kræver før de opfatter sig selv som 'vindere' end det var tilfældet inden processen blev igangsat. [Gross, 2007]

I en planlægningsmæssig kontekst er der gennem tiden blevet afprøvet forskellige løsningsmodeller med henblik på at forbedre den procesuelle retfærdighed i forbindelse med placering af LULUs. Indsatsen har primært været fokuseret på udviklingen og anvendelsen af metoder til inddragelse af lokalsamfundet - ud fra en bottom-up tilgang med fokus på teorier om deliberation og intersubjektiv kommunikation [Smith og McDonough, 2001; Hansen og Galland, 2022]. På trods af, at flere af disse initiativer generelt har resulteret i en øget tillid mellem de offentlige instanser og borgerne, har de ifølge Smith og McDonough [2001] dog hverken formået at reducere antallet af konflikter eller foranlediget en større tilslutning til beslutningerne.

En af de bagvedliggende årsager til den manglende effekt er ifølge professor Henrik Vejre, at de klassiske inddragelsesmetoder er uhensigtsmæssige, når der skal planlægges for placeringen af LULUs. Det kræver en anderledes, mere topstyret tilgang for at lykkes med implementeringen:

"Der er nogle plantemaer, som man ikke kan overlade til befolkningen [...] hvis det skal være bottom-up, og man skal have placeret f.eks. biogasanlæg eller motorveje, så vil anlæggene aldrig blive til noget. Der er nogle, der bliver nødt til at sætte stregerne på et kort."

- Henrik Vejre, professor

Af den årsag bør der fremadrettet i højere grad fokuseres på at gennemføre transparente og rationelle beslutningsprocesser med en top-down baseret tilgang til planlægningen for placering af vedvarende energianlæg [Gross, 2007; George og Desmidt, 2016]. Dette kan eksempelvis udmøntes gennem en overordnet statslig udpegning af potentielle placeringsmuligheder, hvilket behandles i det følgende afsnit.

4.3.2 Statslig udpegning

Ifølge Karsten L. Willeberg-Nielsen har Holland haft succes med at gå progressivt til værks i planlægningen og forvaltningen af det åbne land - med afsæt i en tilgang, der har været mere rationel og strategisk funderet. Hertil opstår det åbenlyse spørgsmål,

om hvorvidt Danmark i fremtiden også bør benytte en lignende tilgang, for at opnå de målsætninger, der er sat for landets arealanvendelse. I klimaaftalen beskrives der forskellige tiltag, som henviser til en mere strategisk og topdown-orienteret arealforvaltning. Det beskrives blandt andet, at:

"Aftaleparterne ønsker, at staten frem mod 2030 skal spille en aktiv rolle i planlægningen af energiparker på land. Det vil sige større, statsligt udpegede områder, hvor der kan ske en hurtig udbygning af flere forskellige vedvarende energiteknologier, herunder vindmøller, solceller og PtX-anlæg mv." [Regeringen, m.fl., 2022a, s. 5]

Endvidere beskrives det i forslaget til landsplanredegørelsen, at for at kunne fremme udbygningen af vedvarende energianlæg, så kan det være nødvendigt for kommunerne at:

"sætte fokus på en mere strategisk afvejning af de planlægnings- og miljømæssige interesser i forhold til potentielle placeringsmuligheder for vindmøller og solcelleanlæg m.v. Det indebærer, at det kan blive nødvendigt at foretage en anden vægtning af vedvarende energianlæg i forhold til andre interesser i det åbne land". [Indenrigs- og Boligministeriet, 2022, s. 21]

Fhv. Forsker Esben Munk Sørensen forklarede under interviewet, at han også mener, at der skal laves en konkret statslig udpegning for, hvor anlæggene skal placeres. Hertil forklarer Sørensen, at han generelt synes, at beslutninger skal tages på et højere niveau, hvor borgere i fremtiden ikke inddrages på samme vis som i dag. Landinspektør Karsten L. Willeberg-Nielsen understreger dog omvendt i interview, at en national plan for udpegningsområder ikke er vejen frem, da ting er så komplekse og diverse på lokalt og kommunalt niveau, at en national plan ikke vil kunne favne det. Willeberg-Nielsen pointerer dog, at det en national plan kan, er at optimere rammerne for, hvordan planlægningen kan lykkes.

Chefkonsulent fra Niras, Hanne Brendstrup Nielsen, efterspørger også overordnede rammer og tiltag for planlægningen:

"Staten er som øverste planmyndighed nødt til at sikre, at vi har mulighederne for at lave strategisk planlægning af landskabet, hvor vi som samfund og kommunale planlæggere reelt prioriterer, hvordan vi udnytter landskabet, afvejer de mange interesser i spil og laver den bedst mulige planlægning af landskabet – for lokalsamfundet, for kommunen, for regionen og i et nationalt perspektiv." [Nielsen, 2018]

Professor Henrik Vejre påpeger ligeledes, at kommunerne selv bør forsøge at finde områder for placering af vedvarende energianlæg, men at hvis kommunerne ikke kan lykkes med det, så bliver det nødvendigt at træffe beslutningen på et mere overordnet

niveau. Her pointerer han, at det kan blive nødvendigt, at et landsplandirektiv skal udpege områder. For at opnå målet om at firedoble produktionen af sol- og landvindenergi er der således behov for en mere sammenhængende national arealstrategi, som er baseret på rationelle planlægningsprincipper.

4.4 Konklusion

I forbindelse med krigen i Ukraine er der indført en række planer og aftaler for at lykkes med målsætningen om udbygningen af vedvarende energi. Blandt andet er der indgået en klimaaftale og en aftale om evaluering af planloven, samt et udkast til en ny landsplanredegørelse - som dog fortsat ligger hen i det uvisse.

Gennemgangen af de væsentligste og mest arealkrævende arealinteresser har skabt overblik over nogle af de politiske planer og målsætninger der er for fremtidens arealanvendelse. Den helt store overvejelse hertil er, hvordan flest mulige af de politiske planer realiseres, og hvordan der skal blive plads til udbygningen af vedvarende energianlæg. Af samme årsag er multifunktionel arealanvendelse blevet undersøgt nærmere, hvor nogle arealinteresser kan kombineres multifunktionelt, mens andre arealinteresser bør holdes særskilte. Brugen af mere multifunktionelle løsninger bakkes op af alle tre interviewrespondenter, og peges også på af regeringen som værende en del af løsningen på den manglende arealressource. Foruden overvejelsen om multifunktionalitet, har de nye planer og aftaler også sat skub i en række andre praksisser, eksempelvis en mulig lempelse af nuværende arealbegrænsninger, for at kunne fremme produktionen af vedvarende energi.

Udover problemstillingen om, hvordan vedvarende energianlæg kan placeres og prioriteres i hensyn til øvrige arealinteresser, er en anden udfordring også belyst - nemlig den lokale opposition der ofte opstår mod placering af eksempelvis vedvarende energianlæg. Problemstillingen betegnes NIMBY, og er i litteraturen blevet stærkt kritiseret for at være et unuanceret og negativt ladet begreb, der uden skelnen miskrediterer alle indvendinger mod indgribende ændringer i lokale samfund. Som alternativ foreslås derfor den teoretiske ramme VESPA, der inddeler de faktorer som fører til en succesfuld projektoimplementering i fire kategorier; visual/landscape, environmental, socioeconomic og procedural. Den sidstnævnte faktor, processuel retfærdighed, der relaterer sig til principperne transparens, troværdighed og adgang til information, kan radikalt påvirke hvordan interessenterne oplever udfaldet. Årsagen til dette er fænomenet 'the fair process effect', der kan bevirke at de lokale aktører generelt stiller lavere krav til, hvad det kræver før de opfatter sig selv som 'vindere' end det var tilfældet inden processen blev igangsat.

I den forbindelse argumenterer professor Henrik Vejre for, at der ved planlægning for placering af LULUs er behov for en mere rationel, strategisk og topstyret tilgang for at lykkes med implementering - eksempelvis udmøntet gennem en overordnet statslig udpegning af potentielle placeringsmuligheder. I den sammenhæng understreger Vejre, at *"der er nogle, der bliver nødt til at sætte stregerne på et kort"*.

Rationel planlægning 5

I det forrige kapitel blev det konstateret, at der er behov for en mere rationel og strategisk indfaldsvinkel til planlægningen af det åbne land, hvis det skal lykkes at indfri de politiske målsætninger om at firedoble produktionen af vedvarende energi på land inden 2030.

I det følgende kapitel tages der af den grund afsæt i teori om rationel planlægning, med henblik på at undersøge om denne tilgang kan medvirke til at styrke den processuelle retfærdighed blandt lokale aktører - ud fra et overordnet mål om at undgå eller mindske den lokale opposition ved placeringen af vedvarende energianlæg. I forlængelse heraf diskuteres det, hvordan principperne fra det rationelle planlægningsparadigme kan sammentænkes med de nuværende tendenser på planområdet for at sikre en mere succesfuld lokal projektoptimering.

5.1 Det rationelle planlægningsparadigme

Det rationelle planlægningsparadigme opstod i slutningen af 1960'erne med et syn på planlægningen som "*a process of rational scientific management in the public realm*" [Hillier og Healey, 2016, s. 299]. Tilgangen associeres med teoretikeren Andreas Faludi¹, hvis arbejde trækker på forskningen fra 'Chicago School' og Max Webers² grundlæggende ideer om rationalitet som en samfunds bærende faktor [Allmendinger, 2009, s. 49].

Procedural Planning Theory, hvilket omfatter rationel planlægning og systemteori, udspringer fra et positivistisk verdenssyn, der tager afsæt i en objektiv, kausalt funderet virkelighed. Positivismen og den rationelle planlægning, som er forankret i logisk deduktion, står derfor i stærk kontrast til ræsonnementer baseret på intuition og følelser. [Allmendinger, 2009; Hansen, 2022]

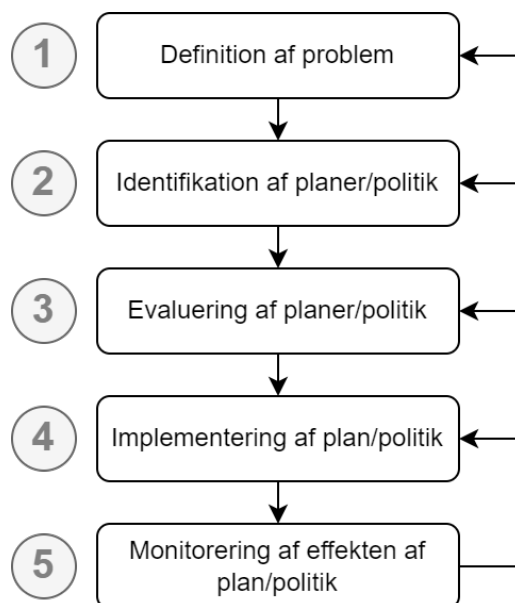
En af de grundlæggende principper i den rationelle planlægning er adskillelsen af fakta og værdier. Idealet er en værdineutral planlægger, der tager beslutninger på et rent faktisk grundlag. De subjektive og irrationelle elementer i samfundet; politik, følelser mv., er derimod sekundære og målet er at undertvinge og kontrollere dem med udgangspunkt i videnskabens grundprincipper. En tankegang som var udgangspunktet for sociolog Karl Mannheims berømte citat: "*Planning is the rational mastery of the irrational.*" [Allmendinger, 2009, s. 64-65]

I figur 5.1 på den følgende side er den rationelle planlægningsproces for beslutningstagen illustreret. I den første fase identificeres og defineres de underliggende

¹Professor i arkitektur og byplanlægning, Delft University of Technology

²Økonomen og sociolog

problemer, som nødvendiggør behovet for en handlingsplan. Herefter undersøger planlæggeren alle de forskellige muligheder for handling, der er realistiske ud fra de givne forudsætninger og i lyset af det mål, som vedkommende søger at opnå. I den tredje fase evalueres disse alternative løsningsmodeller systematisk med henblik på at vurdere deres afledte konsekvenser. Når en bestemt plan er valgt og implementeret, vurderes effekten af handlingen i den sidste fase. [Allmendinger, 2009; Taylor, 1998]



Figur 5.1. Den rationelle planlægningsproces. Figuren er udarbejdet med inspiration fra Taylor [1998].

Den rationelle planlægningsproces er dog iterativ - i modellen visualiseret med feedback-loopet, der illustrerer at den femte fase ikke nødvendigvis er afslutningen på processen. Planlæggeren må muligvis undervejs revidere synet på den overordnede problemstilling eller overveje nye alternativer - eksempelvis som konsekvens af ændrede forudsætninger eller ny viden [Taylor, 1998]. Dette fremgår af følgende citat af Andreas Faludi:

"Rational planning ... it identifies a (future) order, together with the steps which must be taken to bring it about, based on knowledge concerning the present order of things. This order is constantly modified by newly received information." [Faludi, 1973, s. 51]

Rationel planlægning skal altså opfattes som en dynamisk proces, hvor både mål, metoder og resultater løbende tilpasses og ændres med udgangspunkt i den information, som er tilgængelig.

5.1.1 Kritik af det rationelle planlægningsparadigme

Den idealiserede rationelle tilgang til planlægning, præsenteret af Faludi, er sidenhen blevet stærkt kritiseret. En hovedanke er, at forudsætningerne for ideologien

ikke holder i praksis, da virkeligheden er uforudsigelig og ikke altid styret af kausale lovmæssigheder. Aktørerne vil i mange tilfælde agere opportunistisk fremfor rationelt [Hansen, 2022].

“ [...] society is not a logical structure designed by engineers but rather consists of logical and illogical elements and relations.” [Allmendinger, 2009, s. 64]

Denne pointe underbygges af professor Henrik Vejre, som pointerer at den menneskelige faktor i planlægningssammenhæng nødvendigvis må bevirke, at processen aldrig kan være fuldstændig rationelt funderet.

"Lige så snart vi arbejder med noget borgerinddragende, så slipper rationaliteten, for vi er ikke rationelle væsener."

- Henrik Vejre, Professor

Planlæggeren kan heller ikke være fuldstændig værdineutral i beslutningsprocessen, eftersom fakta og værdier er indbyrdes forbundne koncepter. Faktiske udsagn vil altid til en vis grad afspejle værdierne hos dem, der fremlægger dem - om ikke andet så som resultat af betydningen, som de tillægges eller den rækkefølge, hvori de undersøges eller præsenteres. [Davidoff og Reiner, 1962]

Et andet kritikpunkt relaterer sig til risikoen for, at planlægningen ender som et teknokrati - et ekspertvælde, hvor den reelle beslutningsmagt ligger hos eksperter fremfor politikere. Dette er ifølge skeptikerne problematisk for vores demokrati, da den politiske proces i høj grad påvirkes af subjektive og etiske overvejelser. De overordnede, politiske mål kan således ikke udelukkende fastlægges gennem teknologiske løsninger fremlagt af eksperter. [Hillier og Healey, 2016, s. 299]

I den sammenhæng argumenterer professor Bent Flyvbjerg³ også for, at rationalitet kan være med til at forstærke magtforhold [Allmendinger, 2009, s. 74]. Eksempelvis i de tilfælde, hvor rækkefølgen vendes om, så der først tages en beslutning med udgangspunkt i politiske eller økonomiske forhold og derefter legitimerer valget med afsæt i logik og rationalitet:

"We use the term rationality as a smokescreen for decisions that have already been taken and which mask powerful economic or political relations." [Allmendinger, 2009, s. 75]

Hvis der skal kunne drages nytte af grundsætningerne fra den rationelle tilgang til planlægning i en nutidig kontekst, er der derfor behov for at tilpasse dem med de nuværende tendenser på planlægningsområdet.

³Cand.scient i geografi og økonomi

5.2 Rationel planlægning i en nutidig kontekst

Ved planlægning af overordnede placeringer for LULU's kan det som tidligere konkluderet være hensigtsmæssigt at anvende nogle af principperne fra det rationelle planlægningsparadigme. Her kan ekspertisebaserede beslutningsmodeller, hvor fagkyndige fordeler goder og byrder optimalt ud fra almene interesser, bevirke at de lokale aktører generelt oplever en højere grad af processuel retfærdighed. Kritikken, som blev præsenteret i afsnit 5.1.1, tydeliggør dog samtidig at Faludi's idealiserede syn på rationel planlægning i dens 'rene' form er uegnet i praksis og utidssvarende.

Som tidligere nævnt er inddragelse og adgang til information også indikatorer for interessenternes oplevelse af den processuelle retfærdighed. Af den årsag foreslår Smith og McDonough [2001], at der anvendes en mere responsiv tilgang til den rationelle beslutningsproces, hvor *"expertise and logic is used in the service of goals and priorities identified through participation processes"*. Der argumenteres således for, at borgerne særligt bør involveres i de dele af processen, hvor de bagvedliggende mål for den rationelle planlægning formuleres.

De lokale aktører har ligeledes en vigtig funktion i forhold til at bidrage med stedsbunden viden om det pågældende område for placeringen af LULUs - med henblik på at afbøde de negative konsekvenser af den rationelle beslutning. Eksempelvis ved planlægningen af afskærmningsmuligheder eller støjreducerende tiltag.

Ifølge landinspektør Karsten L. Willeberg-Nielsen, er der i den seneste periode i højere grad blevet taget højde for de lokale ønsker i processen med opførelsen af vedvarende energianlæg - simpelthen fordi det i sidste ende kan betale sig for opstillerne, at undgå konflikterne.

"Gennem de sidste 4-5 år har opstillerne [af VE-anlæg, red.] været dygtige til at imødekomme mange af de interesser som lokalsamfundene peger på ved at have en åben dialogproces, holde borgermøde forud og prøver at inddrage lokalområdets ønsker i projekteringen af de her anlæg. Og det gør de jo fordi der er en økonomi i at tilpasse det - ellers ville de jo ikke gøre det."

- Karsten L. Willeberg-Nielsen, Landinspektør

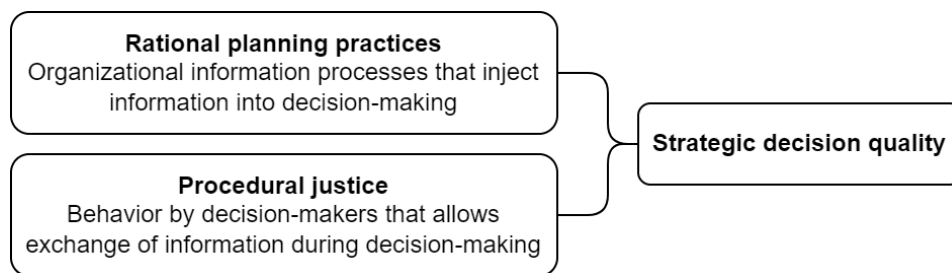
Der er altså behov for at gentænke den idealiserede rationelle planlægning, så den kan indgå i sammenhæng med de post-positivistiske tendenser til deliberation, kommunikativ planlægning og beslutninger baseret på konsensus, der stadig er aktuelle i dag [Hansen og Galland, 2022; Innes, 1996].

I en artikel af George og Desmidt [2016], præsenteres en model over de faktorer, der har indflydelse på kvaliteten af strategiske beslutninger⁴. Modellen er vist i figur 5.2 på næste side. I studiet konstateres det, at kvaliteten i høj grad afhænger af den information, der henholdsvis indsamles og udveksles under beslutningstagningsprocessen. Her udgør rationelle planlægningsmodeller og

⁴I artiklen refereret til som 'Strategic Decision Quality'

procedurer den første indikator, der er med til at tilføre information til processen. Denne del faciliteres typisk gennem brugen af beslutningsstøttesystemer med henblik på at skabe overblik over og identificere mønstre blandt den ofte store mængde af data.

Den anden indikator omhandler graden af informationsudveksling mellem aktører - med udgangspunkt i rationalet: *“the quality of strategy content is a function of the information processing capability inherent in the procedural justice model of strategic decision making”* [George og Desmidt, 2016]. Det er således væsentligt for at styrke graden af processuel retfærdighed, at de involverede aktører føler sig hørt og informerede gennem hele processen.



Figur 5.2. Indikatorer for 'strategic decision quality' [George og Desmidt, 2016].

For at højne kvaliteten af strategiske beslutningsprocesser er det derfor nødvendigt at arbejde med en kombination af rationelle beslutningsmodeller og en tilgang, hvor der er fokus på informationsformidling og -udveksling med de involverede aktører gennem hele processen.

5.3 Konklusion

Det rationelle planlægningsparadigme fra slutningen af 1960'erne var kendetegnet ved adskillelsen af fakta og værdier ud fra et mål om at undertvinge irrationelle elementer (politik, intuition, mv.) med udgangspunkt i videnskabens grundsætninger og ideen om en kausalt funderet virkelighed. Den idealiserede rationelle planlægning, præsenteret af Faludi, blev dog sidenhen stærkt kritiseret med udgangspunkt i følgende hoveddanker; 1) virkeligheden er udforudsigelig og derfor ikke styret af kausale lovmæssigheder og 2) risikoen for at planlægningen skulle ende som et teknokrati og dermed være med til at forstærke magtforhold.

For at der kan drages nytte af principperne fra det rationelle planlægningsparadigme i en nutidig kontekst, er det derfor nødvendigt at kombinere principperne fra den idealiserede tilgang til rationel planlægning med de nuværende post-positivistiske tendenser, der har fokus på høj grad af interaktion med aktørerne i planprocessen. Denne tankegang underbygges med studiet fra George og Desmidt [2016], hvor forskerne med deres model for kvalitet af strategiske beslutninger, fremlægger rationelle beslutningsmodeller og udveksling af information med interessenterne som de primære to indikatorer.

Værktøjer til planlægnings- og beslutningsstøtte

6

Med udgangspunkt i principperne fra det rationelle planlægningsparadigme om objektivitet og transparens vil der i dette kapitel være fokus på værktøjer, der kan være med til at optimere og understøtte beslutningsprocessen ved allokering af arealinteresser i det åbne land. Kapitlet indledes med en generel redegørelse for teorier relateret til spatial beslutningstagen og to af de mest anvendte typer af beslutningsstøtteværktøjer; Spatial Decision Support Systems (SDSS) og Planning Support Systems (PSS). Herefter præsenteres et integreret planlægnings- og beslutningsstøttesystem (IPDSS) fra et studie af Demetriou [2014], som kommer til at udgøre den konceptuelle ramme for projektets hovedanalyse. Afslutningsvis undersøges det, hvordan processen vedrørende prioritering og fordeling af arealinteresser kan faciliteres af beslutningsstøtteværktøjer, der tager afsæt i multi-objektive optimeringsteknikker (MOO).

6.1 Spatial beslutningstagen

Teorier, der beskæftiger sig med beslutningstagen kan generelt inddeles i to hovedkategorier; 1) deskriptive, der behandler måden hvorpå beslutninger reelt tages og 2) normative, der refererer til hvordan beslutninger bør tages. Selvom formuleringen 'bør' i ordets forstand er subjektiv og derfor kan fortolkes bredt, er der generelt konsensus blandt teoretikere inden for feltet beslutningstagen om, at rationalitet udgør fundamentet. Normativ beslutningsteori er således et system af velfunderede antagelser om, hvordan beslutninger skal tages for at være rationelle og hvordan rationelle individer agerer inden for et afgrænset problemfelt. [Elliott, 2019; Hansson, 2005; Demetriou, 2014]

Inden for feltet rationel beslutningstagen skelnes mellem to paradigmer; objektiv rationalitet og processuel rationalitet. Den førstnævnte tilgang søger at opnå den bedst mulige løsning ud fra den forudsætning, at målene er klarlagte og alt information er tilgængeligt. Inden for processuel rationalitet er målet for beslutningsprocessen i stedet blot at opnå en acceptabel eller tilfredsstillende løsning på problemet. [Demetriou, 2014, s. 96]

Ifølge Hansson [2005] kan en problemstilling først karakteriseres som beslutningsteoretisk, når de indledende politiske og etiske normer er udredt. Denne pointe uddybes i eksemplerne på følgende side:

Eksempel I: Hvis en officer vil vinde en krig, forsøger beslutningsteoretikeren at finde ud af hvordan dette mål kan nåes i form af strategi A/B/C. Spørgsmålet om hvorvidt han overhovedet burde prøve at vinde krigen betragtes typisk ikke som et beslutningsteoretisk dilemma. [Hansson, 2005]

Eksempel II: Selve vurderingen af, om det er hensigtsmæssigt at forøge produktionen af vedvarende energi og hvor meget den skal stige er ikke relevant i en beslutningsteoretisk sammenhæng. Det er derimod væsentligt at afgøre, hvordan de pågældende målsætninger om udbygningen indfries. Under den overordnede ramme kan der udledes forskellige problemstillinger - eksempelvis; hvad er den hurtigste metode til at nå målet? Hvilken placering af anlæggene er optimalt ud fra en række forudbestemte parametre?

Beslutningstagning kan altså generelt karakteriseres som en proces, hvor målet er at identificere en optimal løsning med afsæt i et konkret beslutningsproblem og derved bevæge sig fra de aktuelle omstændigheder til en situation, der opfylder en specifik målsætning [Sugumaran og Degroote, 2010, s. 8-9]. Beslutningsproblemet skal opfylde tre betingelser:

"First, a decision-making individual or group has alternative courses of action available; second, the choice made can have a significant effect; and third, the decision maker has some doubt as to which alternative should be selected." [Ackoff, 1981, s. 20].

En af de mest anerkendte klassifikationer af beslutningsproblemer, blev foreslået af politolog Herbert Simon, der rangerer dem langs et kontinuum fra strukturerede til ustrukturerede [Demetriou, 2014; Sugumaran og Degroote, 2010]. Hvor strukturerede problemer er veldefinerede, håndgribelige og kan modelleres i en grad, der i princippet gør beslutningstageren overflødig, er løsningen af ustrukturerede problemer i højere grad afhængig af menneskers erfaring og data, der ikke nødvendigvis er eksplicitte. Spatiale problemstillinger, hvor der er tilknyttet en geografisk komponent, karakteriseres ofte som semistrukturerede, da det kun er nogle elementer af processen, der kan formaliseres. Semistrukturerede problemer er ofte kendetegnet ved et stort antal af potentielle løsningsmuligheder, usikkerhed i forhold til de overordnede målsætninger og konflikter mellem de involverede aktører. [Demetriou, 2014, s. 97]

Spatiale beslutningsproblemer kan ifølge Kemp [2008] yderligere inddeles i tre forskellige kategorier:

- **Site selection**, der beskriver en situation med en fastlagt arealanvendelse, hvor en række mulige lokationer rangeres efter egnethed.
- **Land use selection**, der beskriver en situation med en fastlagt lokation, hvor en række arealanvendelsesmuligheder rangeres efter egnethed.
- **Land use allocation**, hvor der skal findes en optimal fordeling blandt mange forskellige arealanvendelser og lokationer.

I dette projekt formuleres den spatiale problemstilling på baggrund af de udfordringer, der blev identificeret i de indledende kapitler; 1, 4 og 5. Her blev det konstateret, at der er behov for at anvende en mere strategisk og rationel tilgang til planlægning af det åbne land, hvis det skal lykkes at indfri de politiske målsætninger om udbygningen af vedvarende energianlæg inden 2030. Der er dog en begrænset arealressource til rådighed, der også skal række til opfyldelsen af målene for andre arealanvendelser. Disse overvejelser giver anledning til at undersøge spørgsmålet: *Hvordan opnåes den mest optimale allokering af vedvarende energianlæg - under hensyntagen til de øvrige arealinteresser i det åbne land?*

Denne spatiale problemstilling, hvor der forekommer flere forskellige arealinteresser og placeringsmuligheder, kan ud fra Kemp's distinktion karakteriseres som en *land use allocation* - også refereret til i litteraturen som *land resource allocation*. En mere udbygget definition af begrebet fremgår af det følgende:

"Land resource allocation is thus a spatial optimization problem, where the planner tries to reconcile multiple conflicting interests as rationally and transparently as possible by manipulating the quantities and locations of land uses." [Li og Parrott, 2016]

I de følgende afsnit undersøges det, hvordan brugen af beslutningsstøtteværktøjer kan medvirke til at facilitere arbejdet med at løse det opstillede spatiale beslutningsproblem.

6.2 Beslutningsstøtteværktøjer

Kompleksiteten der er forbundet med spatiale beslutningsproblemer medfører, at processen ofte understøttes af forskellige typer af beslutningsstøtteværktøjer. Nogle af de mest anvendte og anderkendte er Spatial Decision Support Systems (SDSS) og Planning Support Systems (PSS). [Demetriou, 2014]

6.2.1 Spatial Decision Support Systems (SDSS)

Betegnelsen SDSS anvendes ofte om systemer, der kombinerer funktionerne i geografiske informationssystemer (GIS) multikriterieanalyse (MCA) og modeller for optimering [Pontius og Si, 2015]. I litteraturen forekommer forskellige definitioner - de fleste med udgangspunkt i den forsimplede version præsenteret af Keenan

[2003], der beskriver SDSS som computerværktøjer, der anvendes til at understøtte spatiale beslutninger. I dette projekt tages dog udgangspunkt i den mere udbyggede definition fra Sugumaran og Degroote [2010], som lyder:

“[...] an interactive computer based system designed to support a user or group of users in achieving a higher effectiveness of decision making while solving a semi-structured spatial decision problem.” [Sugumaran og Degroote, 2010, s. 14]

Det er alment accepteret, at et SDSS består af tre primære komponenter; et databasestyringssystem (DBMS), et modelstyringssystem (MBMS) og et dialoggenererings- og styringssystem (DGMS). DBMS, hvor GIS ofte spiller en nøglerolle, indeholder den anvendte data og de overordnede databehandlingsprocedurer. MBMS giver brugeren adgang til en række modeller (statistiske, matematiske, multikriterie evaluering mv.), der anvendes for at facilitere beslutningsprocessen. Den sidste komponent DGMS består af det user interface, der skal sikre en optimal interaktion mellem computersystemet og brugeren. [Sugumaran og Degroote, 2010; Demetriou, 2014]

6.2.2 Planning Support Systems (PSS)

Begrebet Planning Support Systems, der omfatter værktøjer dedikeret til støtte af beslutningstagen i relation til planlægningsaktiviteter, blev introduceret af planlægger Britton Harris i 1989 [Geertman et al., 2013, s. 1]. PSS defineres som:

“[...] a subset of computer-based geo-information instruments, each of which incorporates a unique suite of components that planners can utilise to explore and manage their particular activities. The components may include data sets, computer algorithms and display facilities, as well as more abstract theoretical constructs, knowledge and modelling capabilities.” [Demetriou, 2014, s. 102]

Ved sammenligning af definitionerne for henholdsvis SDSS og PSS, forekommer der altså en høj grad af overensstemmelse mellem de to begreber, eftersom aktiviteter udført af planlæggere ofte omfatter en lang række af beslutningsprocesser. Forskellen mellem de to forskellige typer af systemer er dog, at PSS generelt beskæftiger sig med langsigtede problemstillinger og strategiske spørgsmål, hvor SDSS sigter mod at understøtte operationel beslutningstagning [Geertman et al., 2013, s. 1]. PSS er altså typisk målrettet til støtte af planlægningsaktiviteter i deres helhed hvilket, udover beslutningsprocesserne, også inkluderer facilitering af dialog mellem de involverede aktører - eksempelvis udmøntet som public participation GIS (PP-GIS) eller web-GIS [Demetriou, 2014, s. 103].

For at forstå forskellen mellem de to koncepter er det nødvendigt, at udlede hvordan begreberne beslutningstagen og planlægning afviger fra hinanden. I litteraturen forekommer der varierende opfattelser, der omhandler relationen mellem termene. Ifølge Demetriou [2014] er planlægning formuleringen af planer eller strategier,

evaluering af disse i forhold til de opstillede målsætninger, valget mellem de forskellige alternativer og afslutningsvis implementeringen af de mest optimale løsninger. Med udgangspunkt i denne fortolkning indeholder planlægningen således en lang række af beslutninger i løbet af processen; hvad, hvornår, hvem, hvorfor? Denne opfattelse, hvor begreberne beskrives som værende indbyrdes forbundne, understøttes af nedenstående citat, hvori det pointeres, at planer udelukkende har en relevans, såfremt de udarbejdes på en måde, hvor de får betydning for beslutningsprocesserne:

"The world moves into the future as a result of decisions, not as a result of plans. Plans are significant only insofar as they affect decisions... if planning is not part of a decision-making process, it is a bag of wind, a piece of paper and worthless diagrams." [Boulding, 1975, s. 11]

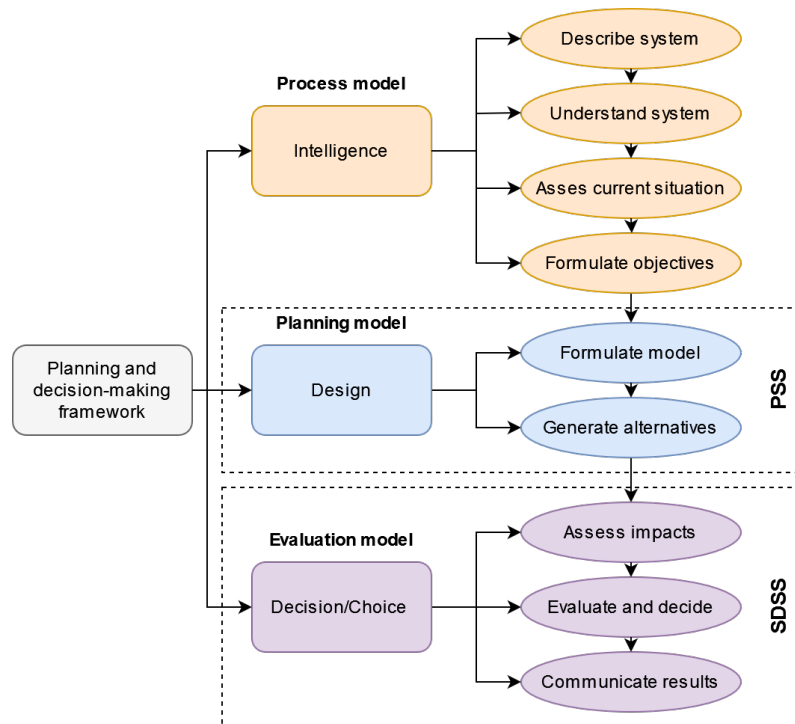
Harris og Batty [1993] argumenterer i stedet for, at beslutningstagen i mange tilfælde udgør konklusionerne af planlægningsprocessen. Dog stadig en opfattelse, der tydeliggør en stærk sammenhæng mellem begreberne.

Planlægning og beslutningstagen kan dog også opfattes som mere separate koncepter. Eksempelvis beskrives begreberne som to adskilte processer i studiet af Demetriou [2014]. Her defineres planlægning som udarbejdelsen af planer, hvor beslutningstagen er den efterfølgende vurdering og valg af løsningsforslag. Med denne fortolkning skelnes således mellem værktøjer til henholdsvis 'planning support' og 'decision support'.

6.2.3 Integrated Planning and Decision Support Systems (IPDSS)

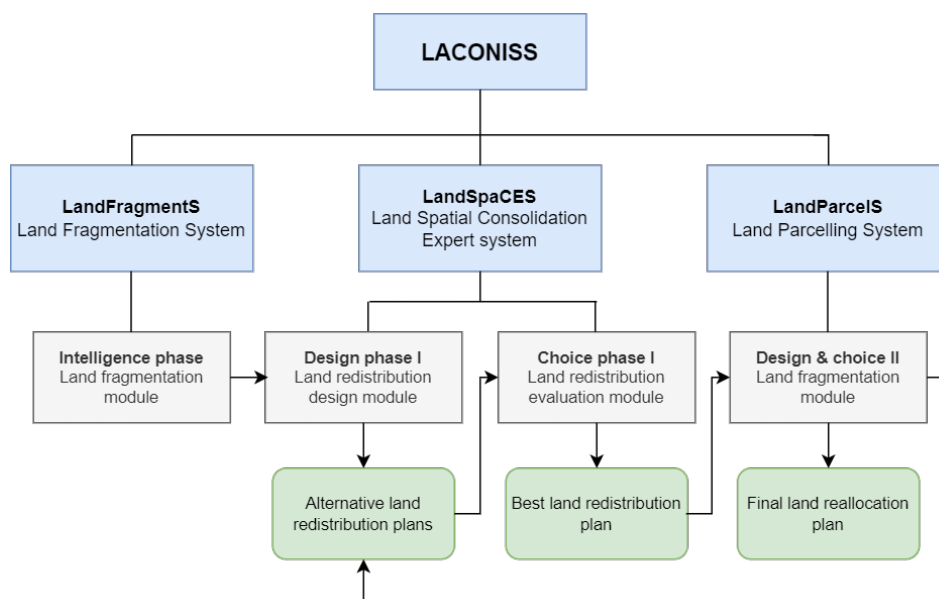
Med henblik på at syntetisere systemerne til planlægning og beslutningstagen, er der i studiet fra Demetriou [2014] opstillet et Integrated Planning and Decision Support System framework (IPDSS), jf. figur 6.1. Den teoretiske ramme er inspireret af Herbert Simons model for beslutningstagen, der inddeler processen i tre trin: 1) Intelligence-fasen, hvor problemet identificeres 2) Design-fasen, hvor alternativerne genereres og 3) Decision-fasen, hvor scenarierne vurderes og den endelige beslutning tages.

I den teoretiske ramme for IPDSS udgøres den første fase *Intelligence* af en procesmodel, der består i at indsamle viden indenfor det afgrænsede problemfelt, en vurdering af den nuværende situation og afslutningsvis formuleringen af de overordnede målsætninger. Fasen *Design* indeholder en planlægningsmodel, hvor den indsamlede viden om problemfeltet omdannes til konkrete planer eller løsningsforslag. Til sidst vurderes alle løsningsforslagene med henblik på den endelige beslutning i fasen *Decision*, som udgøres af en evalueringsmodel. I denne sammenhæng, argumenterer Demetriou [2014] for, at PSS typisk vil understøtte design-fasen af IPDSS, hvorimod SDSS i højere grad involveres i den afsluttende evaluering.



Figur 6.1. En integreret model for processen ved planlægning og beslutningstagen. Figuren er udarbejdet med inspiration fra Demetriou [2014].

Den integrerede model IPDSS er oprindeligt udarbejdet i forbindelse med udviklingen af det specifikke beslutningssystem LACONISS, der tager afsæt i optimering af jordfordelingsprocessen. Værktøjet er inddelt i tre underinddelinger; LandFragments (Land Fragmentation System), LandSpaCES (Land Spatial Consolidation Expert System) og LandParcels (Land Parcelling System). Inddelingernes indbyrdes sammenhæng og relation til faserne fra IPDSS er illustreret i figur 6.2.



Figur 6.2. Den operationelle ramme for det integrerede planlægnings- og beslutningsstøttesystem LACONISS [Demetriou, 2014, s. 122].

LandFragmentS indeholder et modul, der måler omfanget af jordfragmentering i det pågældende område (skala fra 0 til 1) og repræsenterer derved fasen *Intelligence* med en vurdering af den nuværende situation inden for det valgte problemfelt. I LandSpaCES anvendes et system, der automatisk genererer alternative jordfordelingsplaner (*Design phase I*) og et evalueringsmodul, der har til formål at identificere den mest optimale fordeling (*Choice phase I*). Outputtet fra LandSpaCES overføres herefter til LandParcelS, hvor de nye jordstykker designes på baggrund af parametrene størrelse, form og værdi (*Design & Choice II*). Dette gøres ved at integrere en genetisk algoritme. [Demetriou, 2014, s. 121-122]

På trods af, at IPDSS oprindeligt er udviklet som et konceptuelt grundlag for et beslutningsstøttesystem til jordfordelingsprocessen, er det vurderet, at den simple og generiske model kan overføres til dette projekt. Baggrunden for dette er, at der generelt forekommer et stort overlap mellem principperne for jordfordeling og allokering af arealinteresser. Den integrerede planlægnings- og beslutningsmodel, som er illustreret i figur 6.1 på forrige side, kommer altså til at udgøre den overordnede teoretiske ramme for projektets hovedanalyse.

I det følgende afsnit fokuseres på konklusionerne fra den hidtidige forskning relateret til anvendelsen af beslutningsstøttesystemer specifikt i forbindelse med allokering af forskellige arealanvendelser, som er temarammen for projektets efterfølgende kapitler.

6.3 Beslutningsstøtte for allokering af arealinteresser

Inden for den seneste årrække er der blevet gennemført adskillige studier, der beskæftiger sig med udvikling og evaluering af værktøjer til at facilitere processen med allokering af forskellige arealinteresser [Bodhankar et al., 2022]. Som det pointeres i nedenstående citat er baggrunden for tendensen et stigende behov for at understøtte beslutningstagningsprocessen relateret til allokering, som dækker over en række komplicerede rumlige og geografiske begrænsninger:

"There is an urgent need for effective tools to assist planners in determining the optimal allocation of future land use, taking into consideration various spatial and geographical constraints as well as community development goals. Computational approaches to land use allocation can help to resolve this problem, by generating a range of possible solutions that meet defined constraints and objectives." [Li og Parrott, 2016]

I planlægningsregi er allokeringen dog hidtil primært blevet opfattet som en problemstilling, der skal løses ved at optimere placeringen af anvendelserne enkeltvis - i litteraturen refereret til som et *single land use allocation problem* [Luan et al., 2021; Kumar og Kumar, 2014]. Denne tilgang til allokering af arealinteresser har foranlediget, at udviklingen af beslutningsstøtteværktøjer hovedsageligt har haft udgangspunkt i Multi-Criteria Analysis (MCA) - med henblik på enten at finde

en optimal lokation til en specifik arealanvendelse eller en optimal arealanvendelse til en specifikt lokation [Bodhankar et al., 2022]. Eksempelvis ved udelukkende at fokusere på, hvor der er optimale forhold for at placere vedvarende energianlæg - uden hensyntagen til de øvrige arealanvendelser i det åbne land.

Ifølge Masoumi et al. [2017] skal processen med fordeling af arealinteresser i stedet opfattes som et multifacetteret optimeringsproblem, som typisk vil indeholde en række modstridende økonomiske, sociale og miljømæssige målsætninger (som nævnt i afsnit 4.3). Det er derfor ikke nok blot at udføre enkeltstående egnethedsanalyser, hvis der skal findes en integreret løsning, der tager højde for alle aspekterne [Bodhankar et al., 2022].

Disse komplekse allokeringsproblemer løses derfor typisk ved anvendelse af modelbaserede tilgange, der tager afsæt i enten scenarieanalyser, backcasting¹ eller multi-objektive optimeringsteknikker (MOO) [Strauch et al., 2019]. I den forbindelse argumenterer Masoumi et al. [2017] for, at brugen af MOO netop er fordelagtig i tilfælde, hvor der indgår mange (ofte modstridende) kriterier, som har indflydelse på valget af en lokation.

I litteraturen er Multi-Objective Land Use Allocation (MOLA)² en af de mest anvendte optimeringsteknikker til allokering af arealinteresser inden for planlægningsområdet. Begrebet kan defineres på følgende måde:

"Multi-objective Land Allocation (MOLA) derives suitability for multiple land use individually, and then combines them to provide optimal allocation of identified land uses." [Bodhankar et al., 2022]

MOLA refererer altså til en todelt proces, hvor de pågældende arealinteresser først vurderes enkeltvis i forhold til deres egnethed og herefter, ud fra optimeringsalgoritmer, fordeles på en måde, hvor der tages højde for flere forskellige målsætninger og begrænsninger. Formålet er altså at skabe *"an equilibrium of various conflicting land uses."* [Bodhankar et al., 2022, s. 764]

Forskningen viser generelt, at MOLA er et effektivt værktøj til at minimere konflikter mellem forskellige arealinteresser og understøtte beslutningsprocessen relateret til allokeringsproblemstillinger i planlægningssammenhænge [Dai og Ratick, 2014; Bodhankar et al., 2022; Strauch et al., 2019; Li og Parrott, 2016]. Her er det fremhævet, at nytteværdien af MOLA i høj grad er knyttet til objektiviteten af de fremkomne fordelingsforslag, der kan bruges som grundlag for de mere politiske eller inddragelsesorienterede planprocesser [Bodhankar et al., 2022]. I studiet af Bodhankar et al. [2022] blev det derudover konstateret, at forslagene der blev genereret ud fra MOLA-tilgange i hovedtræk stemte overens med den arealtildeling, der blev foreslået af planlæggerne i området for den valgte case. Altså en indikation af, at resultaterne, udover at være rationelle, også var virkelighedsnære.

Det er dog væsentligt at understrege, at eftersom allokeringsproblemer som tidligere

¹I modsætning til forecasting, er backcasting en planlægningsmetode, hvor der tages afsæt i en definition af en ønskelig fremtid og derefter arbejdes baglæns med henblik på at identificere politikker og planer, der vil forbinde nutiden med fremtiden [Ziegler og de Oliveira, 2022].

²I litteraturen også refereret til som Multi-site Land Use Allocation (MLUA)

nævnt karakteriseres som semistrukturerede, er det ikke alle elementer, der kan modelleres. Den menneskelige faktor spiller stadig en afgørende rolle - særligt i forbindelse med den endelige beslutningstagen. Værktøjer som MOLA kan altså være med til at facilitere processen, men ikke erstatte selve beslutningstageren.

6.4 Konklusion

Spatiale beslutningsproblemer kan generelt rangeres langs et kontinuum der spænder fra strukturerede til ustrukturerede, hvor allokeringen af forskellige arealinteresser karakteriseres som semistruktureret. Komplexiteten forbundet med denne type af optimeringsproblemstillinger bevirker, at processen i mange tilfælde understøttes af beslutningsstøtteværktøjer - ofte i form af enten SDSS eller PSS. Med baggrund i definitionerne forekommer der en høj grad af overensstemmelse mellem de to systemer. Den primære forskel er dog, at PSS generelt beskæftiger sig med langsigtede problemstillinger og strategiske spørgsmål, hvor SDSS sigter mod at understøtte operationel beslutningstagning. Derudover argumenteres der for, at PSS i højere grad understøtter design-fasen i IPDSS med udarbejdelsen af forskellige planer, hvorimod SDSS ofte først involveres i forbindelse med den afsluttende evaluering af forslagene (decision-fasen).

I litteraturen er allokeringen af arealinteresser hidtil primært blev opfattet som et *single land use allocation problem*, men processen bør i stedet opfattes som et multifacetteret problem - som konsekvens af de komplicerede rumlige og geografiske begrænsninger, samt modstridende målsætninger, der ofte gør sig gældende. Af den årsag kan det være hensigtsmæssigt at anvende MOLA, som har vist sig at være et effektivt værktøj til at minimere konflikter mellem forskellige arealinteresser og understøtte beslutningsprocessen med objektive fordelingsforslag.

Konklusion på foranalyse

7

Som konsekvens af krigen i Ukraine, er der i løbet af 2022 blevet indført en række politiske planer, som skal sætte rammerne for at gøre Danmark uafhængig af russiske fossile energikilder. Konkret har det udmøntet sig i en klimaaftale, hvori der er fremsat målsætninger om en firedobling af den nuværende produktion af vedvarende energi fra anlæg på land frem mod 2030.

I den første del af foranalysen blev det undersøgt, hvilke arealmæssige udfordringer, der forekommer i forbindelse med realiseringen af denne målsætning. En af de aktuelle problematikker er den begrænsede arealressource i det åbne land, hvor målsætninger og ønsker for arealanvendelsen sammenlagt overstiger det danske areal. Det gælder eksempelvis målsætningen fra EU om at reservere 30% til beskyttet natur og sigtet fra det nationale skovprogram om at forøge skovarealet, så det dækker op mod 20-25% af landet. Samtidig skal det sikres, at fødevareproduktionen kan opretholdes og, at der er plads til udbygningen af vedvarende energianlæg. Fælles for målsætningerne er altså, at de kræver plads i det åbne land - en udfordring, der intensiveres i takt med reduktionen af det samlede areal som konsekvens af klimaforandringerne. En af de løsningsmuligheder, der både fremgik af litteraturen og blev pointeret blandt interviewrespondenterne var at kombinere forskellige interesser gennem multifunktionel arealanvendelse - eksempelvis ved at placere solceller på lavbundsjorder eller i områder med særlige drikkevandsinteresser. Der var dog konsensus om, at multifunktionalitet kun udgør en del af løsningen, da nogle af de mest arealkrævende interesser, f.eks. strengt beskyttet natur og intensivt landbrug, i langt de fleste tilfælde bør være monofunktionelle for at opfylde deres formål.

Foruden arealudfordringen blev den lokale opposition, som ofte opstår i forbindelse med placering af vedvarende energianlæg, der betragtes som locally unwanted land uses, også fremhævet. Modstanden tilskrives i mange tilfælde fænomenet NIMBY, som dog i litteraturen er blevet stærkt kritiseret for at være et unuanceret begreb, der uden skelen miskrediterer alle indvendinger mod indgribende ændringer i lokale samfund. Som alternativ tages der derfor afsæt i den teoretiske ramme VESPA, der inddeler de faktorer, som fører til en succesfuld projektoptimering i fire overordnede kategorier; visual/landscape, environmental, socioeconomic og procedural. Den sidstnævnte faktor, processuel retfærdighed, der relaterer sig til principperne transparens, objektivitet og adgang til information, kan radikalt påvirke hvordan interessenterne oplever udfaldet. En af årsagerne til det er konceptet 'the fair process effect', der kan bevirke, at de lokale aktører i højere grad vil acceptere resultater, de ellers ville opfatte som negative.

I den forbindelse argumenterer professor Henrik Vejre for, at der ved planlægning

for placering af LULUs er behov for en mere rationel, strategisk og topstyret tilgang for at lykkes med implementeringen. Han understreger, at *"der er nogle, der bliver nødt til at sætte stregerne på et kort"*.

Med henblik på at undersøge, hvordan de identificerede udfordringer relateret til udbygningen af vedvarende energianlæg kan løses i en planlægningsmæssig kontekst, blev der i det efterfølgende kapitel taget udgangspunkt i teori om rationel planlægning. Det rationelle planlægningsparadigme er kendetegnet ved adskillelsen af fakta og værdier ud fra et mål om at undertvinge irrationelle elementer med udgangspunkt i videnskabens grundsætninger og ideen om en kausalt funderet virkelighed. Denne idealiserede fremstilling blev dog sidenhen stærkt kritiseret med udgangspunkt i følgende hovedanker; 1) virkeligheden er udforudsigelig og derfor ikke styret af kausale lovmæssigheder og 2) risikoen for at planlægningen skulle ende som et teknokrati. Det kan dog være hensigtsmæssigt at videreføre nogle af de grundlæggende principper om objektivitet og tilførelse af information ved planlægning for placering af LULUs. Her kan ekspertisebaserede beslutningsmodeller, hvor fagkyndige fordeler byrder optimalt ud fra almene hensyn, medvirke til at de lokale aktører generelt oplever en højere grad af processuel retfærdighed. For at kunne drage nytte af principperne i en nutidig kontekst foreslås dog en mere responsiv tilgang, hvor rationelle beslutningsmodeller kombineres med et fokus på informationsformidling og -udveksling med de involverede aktører. Ved denne kobling opnåes teoretisk set den højeste grad af strategisk beslutningskvalitet.

I foranalysens sidste kapitel blev der fokuseret på spatial beslutningstagen og hvordan anvendelsen af beslutningsstøtteværktøjer kan facilitere den ofte komplicerede proces. Nogle af de mest anvendte typer er SDSS, der sigter mod at understøtte operationel beslutningstagen og PSS, som i højere grad relaterer sig til langsigtede problemstillinger og strategiske spørgsmål. I et studie fra Demetriou [2014] er principperne fra SDSS og PSS blevet syntetiserede til et integreret system for planlægning og beslutningstagen (IPDSS), som kommer til at udgøre den konceptuelle ramme for dette projekts hovedanalyse.

Med udgangspunkt i konklusionerne fra de forudgående kapitler blev der opstillet et spatialt beslutningsproblem, der skal sætte rammerne for de efterfølgende analyser; *Hvordan opnåes den mest optimale allokering af vedvarende energianlæg - under hensyntagen til de øvrige arealinteresser i det åbne land?*

Allokeringen af arealinteresser er hidtil primært blev opfattet som et single land use allocation problem, hvor der findes en optimal lokation til en given arealanvendelse. Processen bør dog i stedet opfattes som et multifacetteret problem - som konsekvens af de komplicerede rumlige og geografiske begrænsninger, samt modstridende målsætninger, der ofte gør sig gældende. Af den årsag kan det være hensigtsmæssigt at anvende MOLA, som har vist sig at være et effektivt værktøj til understøttelse af beslutningsprocessen relateret til allokeringsproblemstillinger.

Ovenstående overvejelser fører til følgende problemformulering:

Hvordan udvikles en MOLA-algoritme, der optimerer allokeringen af vedvarende energianlæg - under hensyntagen til øvrige arealinteresser i det åbne land?

Del II

Hovedanalyse

Teori og metode for hovedanalysen 8

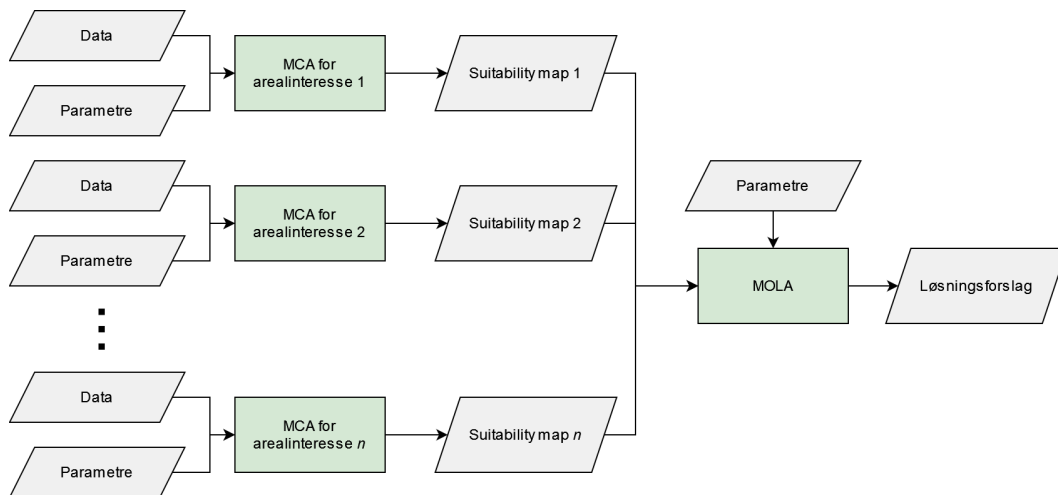
I det følgende kapitel præsenteres en række overvejelser relateret til de metodiske og teoretiske afgrænsninger, der foretages for projektets hovedanalyse. Kapitlet indledes med en illustration af den indbyrdes relation mellem metoderne multikriterieanalyse (MCA) og MOLA, hvilket samtidig skal være med til at give et overordnet billede af strukturen for de efterfølgende afsnit, hvor metoderne gennemgås enkeltvis. I afsnittene om MCA og MOLA tages der afsæt i et litteraturstudie af Rahman og Szabó [2021] med henblik på at foretage et valg mellem forskellige algoritmiske metoder og spatiale datamodeller, samt hvorvidt der skal inkorporeres en mulighed for multifunktionalitet i algoritmen. Afslutningsvis tages der udgangspunkt i en simplificeret, grafisk begrebsafklaring, der har til formål at sætte de præsenterede metoder ind i en konkret, virkelighedsnær kontekst.

8.1 Præmissen for hovedanalysen

Som det fremgik af den opstillede problemformulering i kapitel 7 er målet med hovedanalysen at udvikle en MOLA-algoritme, der kan generere en rationel og optimal allokering af arealinteresser i det åbne land. Som tidligere nævnt, omfatter processen for løsning af en MOLA-problemstilling to faser; 1) en indledende multikriterieanalyse, hvor de udvalgte arealinteresser vurderes enkeltvis i forhold til deres egnethed og 2) en efterfølgende eksekvering af en MOLA-algoritme, hvor resultaterne fra de individuelle multikriterieanalyser kombineres for at give en optimal allokering. Den indbyrdes sammenhæng mellem MCA og MOLA fremgår af figur 8.1 på næste side.

Produktet af første fase er n suitability maps, der ifølge Esri [2023a] defineres som "*the relative preference of each location based on the features at the location*". Altså viser de den geografiske egnethed for hver enkelt arealanvendelse, hvilket er det primære grundlag for allokeringen af arealer i MOLA-algoritmen.

I projektets hovedanalyse udvælges et caseområde til brug for evaluering, samt en række arealinteresser, der vurderes og kortlægges enkeltvis ved brug af MCA. De suitability maps, som fremkommer derfra præsenteres i kapitel 9. Herefter kommer den primære metodeudviklingsdel (kapitel 10), hvori MOLA-optimeringsalgoritmens basale designprincipper og funktionalitet beskrives. Afslutningsvis sammenkobles resultaterne fra MCA og udviklingen af MOLA-algoritmen i kapitel 11, hvor de endelige løsningsforslag præsenteres og vurderes.



Figur 8.1. Den indbyrdes sammenhæng mellem metoderne MCA og MOLA.

I de følgende afsnit gennemgås teori for henholdsvis multikriterieanalyse og MOLA, samt metodeovervejelser og afgrænsninger for, hvordan de anvendes i projektets hovedanalyse.

8.2 Multikriterieanalyse (MCA)

Multikriterieanalyse¹ er en struktureret proces, der anvendes til at evaluere beslutningsproblemer, hvor der forekommer en lang række af modstridende mål og evalueringskriterier [Demetriou, 2014, s. 104]. Ifølge Voogd [1982] kan begrebet defineres på følgende måde:

"Multi-criteria evaluation methods offer a set of procedures that facilitate decision making by examining a number of alternatives in light of multiple conditions and conflicting objectives."

I modsætning til, hvad der almindeligvis antages, udgør MCA således ikke en enkelt specifik metode - der er snarere tale om en paraplybetegnelse, der omfatter en række forskellige værktøjer og teknikker, som har nogle fundamentale aspekter til fælles [Mouter, 2020]. Dette inkluderer ifølge Mouter [2020] følgende karakteristika:

1. Forekomsten af en række forskellige løsningsmuligheder, der korresponderer med et fremsat (beslutnings)problem
2. Identificeringen af et overordnet mål
3. Opstillingen af specifikke målbare indikatorer for egnetheden af de enkelte løsningsforslag
4. Brugen af koefficienter til at indikere, hvor højt en målsætning og de tilsvarende kriterier vægtes relativt til de øvrige

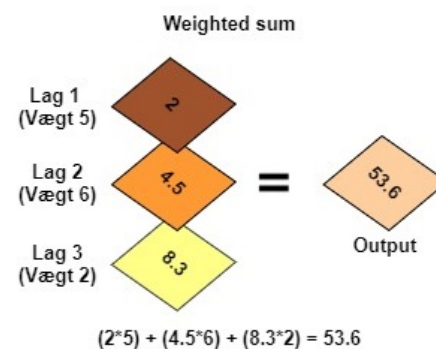
¹I litteraturen anvendes begreberne Multi Criteria Analysis (MCA), Multi Criteria Decision Analysis (MCDA), Multi Criteria Decision Methods (MCDM), Multi Objective Decision Analysis (MODA), Multiple-Attribute Decision-Making (MADM) og Multi Dimensional Decision-Making (MDDM) som synonymer [Dean, 2022].

Disse aspekter udgør dog hverken en fyldestgørende konceptuel eller teoretisk ramme og der argumenteres følgelig for, at begrebet er omgærdet af 'methodological chaos' - blandt andet som konsekvens af, at den benyttede terminologi ikke er entydig (jf. tekst i fodnoten på forrige side). [Mouter, 2020, s. 172]

8.2.1 Valg af MCA-teknik

I dette projekt anvendes begrebet multikriterieanalyse i forbindelse med udarbejdelsen af de suitability maps, der udgør det primære input til MOLA-algoritmen. I den sammenhæng vælges at benytte metoden *weighted sum*, da den er velegnet til formålet [Esri, 2023b]. Principperne herfor fremgår af figur 8.2, hvor det ses hvordan vægte summeres på celleniveau i rasterdata.

Et af kritikpunkterne for *weighted sum* er, at det endelige output i høj grad afhænger af de tildelte vægte, hvilket gør metoden sensibel overfor bias [Demetriou, 2014]. *Weighted sum* kunne derfor med fordel kombineres med metoden 'analytic hierarchy process' (AHP), der opsætter en rationel ramme for vægtningen af forskellige kriterier relateret til beslutningsproblemer. Ved at anvende en metode, hvor parametrene vurderes parvis i forhold til en skala (1-9) undgås således en arbitrær fastsættelse af vægtene. Rationalet er, at det er nemmere og mere præcist blot at forholde sig til en indbyrdes vægtning mellem to kriterier ad gangen end at prioritere alle samtidigt. [Ishizaka og Labib, 2011] AHP bliver dog ikke anvendt eller behandlet yderligere i dette projekt, hvor fokuset i højere grad er metodeudvikling i forhold til multi-objective land use allocation (MOLA).



Figur 8.2. Illustration for princippet *weighted sum*, hvor der ses tre celler på samme geografiske placering med hver deres celleværdi [Larsen et al., 2020].

8.3 Multi-objective land use allocation (MOLA)

Som nævnt i afsnit 6.3 refererer MOLA til en proces, hvor der allokeres areal til flere forskellige arealinteresser samtidigt [Dai og Ratick, 2014]. I lighed med multikriterieanalyse forekommer der heller ikke en entydig teoretisk ramme for MOLA. I litteraturen bliver MOLA i nogle sammenhænge opfattet som en betegnelse for selve beslutningsproblemet, hvorimod begrebet i andre tilfælde anvendes om en metode til at løse det pågældende problem. Denne pointe understreges af definitionerne på følgende side:

"Multi-objective land allocation (MOLA) can be regarded as a spatial optimization problem" [Song og Chen, 2018a]

"[MOLA is, red.] the problem of allocating more than one land use type to different spatial units." [Li og Parrott, 2016]

"Multi-objective Land Allocation (MOLA) derives suitability for multiple land use individually, and then combines them to provide optimal allocation of identified land uses." [Bodhankar et al., 2022]

En del af baggrunden for disse terminologiske uoverensstemmelser skal formentlig tilskrives vinklingen og forskellen i, hvordan problemet tilgås i den pågældende artikel - eksempelvis om forskningen har afsæt i en konkret problemstilling fra virkeligheden.

I MOLA-sammenhæng anvendes der også flere forskellige tilgange til løsningen af allokeringsproblemer - der forekommer altså ikke et fastlagt og entydig fremgangsmåde [Li og Parrott, 2016]. I de følgende afsnit foretages derfor et række afgrænsninger for projektets hovedanalyse i forhold til valg af optimeringsalgoritme, spatial datamodel og hvorvidt MOLA-algoritmen skal give mulighed for multifunktionel arealanvendelse.

8.3.1 Typer af optimeringsalgoritmer

MOLA-optimeringsproblemstillinger kan løses ved brug af forskellige algoritmiske metoder, der har afsæt i enten eksakte eller heuristiske tilgange [Rahman og Szabó, 2021]. Hvor eksakte algoritmer som brute forcing, der afprøver alle mulige løsninger, og lineær programmering, der benytter matematisk modellering, altid kommer frem til en optimal løsning, opererer heuristiske metoder ud fra en række 'intelligente gæt':

"A heuristic or heuristic technique, is any approach to problem solving or self-discovery that employs a practical method that is not guaranteed to be optimal, perfect, or rational, but is nevertheless sufficient for reaching an immediate, short-term goal or approximation." [Khan og Mir, 2021]

En heuristisk algoritme er således en systematisk fremgangsmåde til at løse problemstillinger hurtigere end den 'klassiske måde'. Formålet er at producere en løsning inden for en rimelig tidsramme, der er god nok til at løse det aktuelle problem, selvom det ikke er garanteret, at det nødvendigvis er den mest optimale løsning. Heuristiske algoritmer kan i nogle tilfælde bruges inden for områderne Artificial Intelligence og Machine Learning - sammenhængen mellem disse begreber er beskrevet nærmere i bilag F.

I litteraturen forekommer der generelt en overvægt af studier, der tager udgangspunkt i heuristiske tilgange [Rahman og Szabó, 2021; Li og Parrott, 2016]. Årsagen til dette er, at eksakte metoder primært er effektive i simple 'single objective' tilfælde, hvor der er få rumlige enheder i spil og ikke indgår modstridende målsætninger.

Kompleksiteten af allokeringsproblemer bevirker altså, at eksakte metoder som f.eks. brute forcing ofte er uhensigtsmæssige i MOLA-sammenhænge [Rahman og Szabó, 2021].

De mest anvendte heuristiske metoder er Genetic Algorithms (GA), Simulated Annealing (SA) og Particle Swarm Optimization (PSO) [Rahman og Szabó, 2021; Li og Parrott, 2016]. I de følgende afsnit gennemgås de overordnede principper for disse med henblik på at udvælge en algoritme til brug for udviklingen i kapitel 10.

Genetiske algoritmer (GA)

Genetiske algoritmer, der blev introduceret af John H. Holland² i 1975, udgør en række stokastiske søgeteknikker, som imiterer mekanismerne fra Charles Darwins teorier om naturlig selektion [Demetriou, 2014, s. 117]. Målet er således at frasortere uhensigtsmæssige løsninger løbende gennem en konkurrencebetonet optimerings- og udvælgelsesstrategi [Sugumaran og Degroote, 2010, s. 157].

Processen involverer generelt følgende faser, hvoraf de to sidste gentages i en iterativ proces indtil en approksimeret optimal løsning er identificeret [Demetriou, 2014, s. 117]:

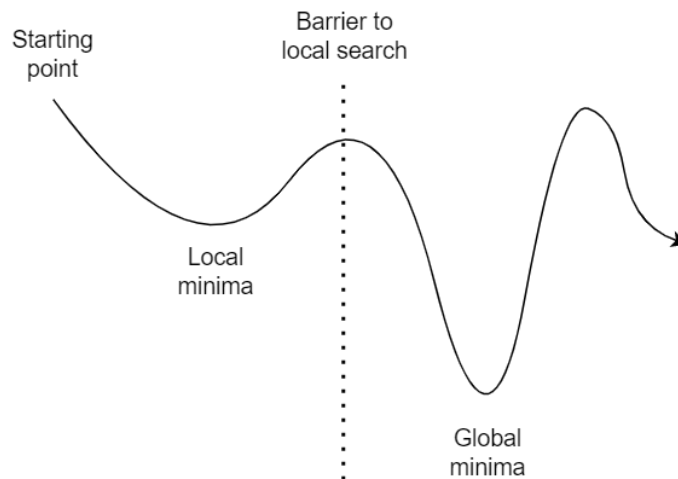
1. Skabelse af en indledende population bestående af individer, der hver især udgør en løsningsforslag for den pågældende problemstilling.
2. Evaluering af individernes *fitness*, der er et mål for indbyrdes konkurrencedygtighed og sandsynligheden for at blive udvalgt til reproduktion.
3. Generering af en ny, forbedret population på baggrund af selektion og parring af de individer, som er bedst egnede.

I et eksempel, der tager afsæt i allokering af arealinteresser, vil en population således kunne bestå af individuelle løsningsforslag til arealanvendelsesplaner (a, b, c ...). Planerne har hver især tilknyttet en række 'gener', der specificerer deres individuelle karakteristika. Med afsæt i de opstillede kriterier for beregning af fitness-score udvælges de bedst egnede planer; f.eks. a og b, som herefter forædles yderligere gennem en kombination af deres favorable egenskaber. Processen gentages indtil et prædefineret stopkriterie nåes - f.eks. en fastsat tidsramme eller en grænseværdi for hvor mange nye individer, der fremkommer per generation. [Demetriou, 2014, s. 116]

Simulated Annealing (SA)

Simulated Annealing algoritmer er baserede på samme princip som udglødning af metal, der involverer opvarmning og kontrolleret afkøling af et bestemt materiale for at forandre dets fysiske egenskaber. Når metal er varmt har det nemmere ved at ændre dets struktur. På samme måde er algoritmen mere tilbøjelig til at acceptere ændringer i starten, mens resultatet langsomt låses mere fast. Det har den fordel at algoritmen reducerer risikoen for at blive fastlåst i et lokalt optima/minima - dvs. en potentielt dårlig løsning hvor der ikke er nogen nærliggende gode løsninger (jf. figur 8.3). SA er af den årsag hensigtsmæssig at anvende i situationer, hvor der forekommer mange lokale optima/minima [Liang, 2020; Li og Parrott, 2016]

²Professor, computer science



Figur 8.3. Risiko for fastlåsnings i lokalt minima [Liang, 2020].

Particle Swarm Optimization (PSO)

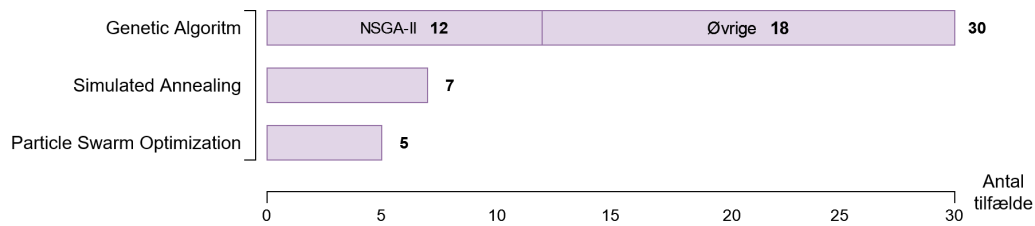
Particle Swarm Optimization er en populationsbaseret optimeringsalgoritme, der er inspireret af den sværmende adfærd, som observeres blandt fugleflokke eller stimer af fisk. I lighed med evolutionære teknikker, som genetiske algoritmer, indledes processen for PSO også med en population af tilfældige løsninger, der løbende opdateres og forbedres gennem nye generationer. I PSO tages der dog afsæt i den sociale adfærd med indbyrdes deling af information, der forekommer blandt individerne i en fugleflok (jf. nedenstående analogi). [Lu et al., 2018; Aote et al., 2013]

Analogi: En fugleflok leder efter føde i et specifikt område, hvor der kun er mad ét bestemt sted. Ingen af fuglene ved præcist hvor føden befinder sig, men de har alle et bud på, hvor langt væk de er fra den. Ud fra en kobling af disse oplysninger, nærmer fuglene sig løbende føden. [Thevenot, 2020]

I PSO-algoritmer bevæger de potentielle løsninger (partikler) sig således i det givne problemrum gennem kendskab til, hvilke af de øvrige partikler, der er tættest på det globale optimum. [Lu et al., 2018]

Valg af optimeringsalgoritme

GA er generelt den mest anvendte metode til at finde optimerede løsningsforslag for MOLA-problemstillinger [Li og Parrott, 2016]. Dette underbygges også i et litteraturstudie af Rahman og Szabó [2021], hvor resultaterne viser, at der blandt de 55 undersøgte tilfælde forekommer en klar overvægt af Genetic Algorithms ($n = 30$), hvoraf den specifikke GA-variant Nondominated Sorting Genetic Algorithms II (NSGA-II) udgør 12 af tilfældene. Til sammenligning blev typerne Particle Swarm Optimization og Simulated Annealing blot anvendt i henholdsvis 7 og 5 studier, som det fremgår af figur 8.4 på den følgende side.



Figur 8.4. Oversigt over algoritmiske metoder anvendt til løsning af MOLA-problemstillinger [Rahman og Szabó, 2021].

Nogle af de gennemgående kvaliteter, der bliver fremhævet for genetiske algoritmer er deres robusthed og effektivitet [Song og Chen, 2018a], samt deres evne til at finde approksimerede optimale løsninger i store, komplekse og uoverskuelige problemrum [Li og Parrott, 2016; Huang og Zhang, 2014].

I et studie af Cazacu [2016], hvor metoderne GA og PSO blev sammenlignet, viste resultaterne også, at GA overgik PSO i forhold til samtlige af de tre opstillede parametre; reliabilitet³, nøjagtighed⁴ og effektivitet⁵. En af årsagerne til, at GA generelt fremkom med bedre løsninger var, at PSO havde en tendens til at sidde fast i lokale minima. Disse pointer underbygges af Song og Chen [2018a], som konstaterede at PSO-algoritmer primært var effektive i tilfælde, hvor optimeringsproblemerne var kontinuerlige. PSO var derfor mindre egnet til at finde optimerede løsninger i MOLA-sammenhæng, da denne type optimering karakteriseres som kombinatorisk.

Ved sammenligning af GA og SA i studiet af Li og Parrott [2016] blev det konkluderet, at genetiske algoritmer generelt producerede allokeringsløsninger, der enten var lige så gode eller bedre end forslagene, som fremkom ved brug af SA. Dette understøttes af Manikas og Cain [1996], som testede SA og GA i forhold til et 'circuit partitioning problem' og Nair og Sooda [2009], der udførte et komparativt studie med afsæt i metoder til 'optimal path finding'. I begge tilfælde blev det konkluderet, at genetiske algoritmer både gav bedre løsninger og var mere effektive.

Genetiske algoritmer overgår således PSO og SA - både med hensyn til den generelle løsningskvalitet og effektiviteten. Følgelig udgør de også den mest anvendte type til løsning af MOLA-problemstillinger. Af disse årsager tages der i hovedanalysens øvrige kapitler afsæt i udviklingen af en genetisk algoritme.

8.3.2 Metoder til vurdering af løsningsforslag

I MOLA-sammenhæng anvendes typisk enten weighted sum, Goal Programming (GP) eller pareto-baserede løsninger til vurdering af de fremkomne løsningsforslag [Rahman og Szabó, 2021; Li og Parrott, 2016]. Weighted sum opfattes generelt som den mest simple metode, hvor de enkelte kriterier tildeles en vægt, som herefter akkumuleres. Ved Goal Programming, der beskrives som en generalisering eller udvidelse af metoden lineær programmering, fastlægges et referencepunkt som anvendes til sammenligning af de forskellige løsninger. GP forfølger således det

³Et mål for algoritmens evne til konsekvent at nå frem til gode løsninger

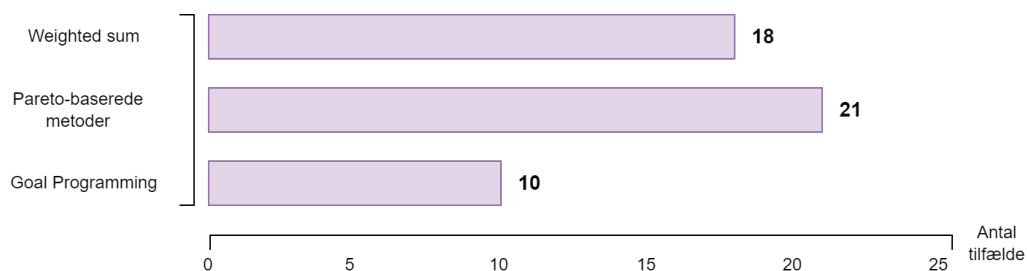
⁴Et mål for algoritmens evne til at opnå de bedste løsninger

⁵Et mål for, hvor hurtigt algoritmen eksekverer

løsningsforslag, der har den mindste afstand til referencepunktet. [Li og Parrott, 2016]

Pareto-baserede metoder søger at finde et sæt af ikke-dominerede løsninger. En løsning betegnes Pareto optimal i det tilfælde, hvor *"no further improvement is possible in any objective function without degrading at least one of the other objective function(s)"* [Rahman og Szabó, 2021, s. 8].

Som det fremgår af figur 8.5, der er baseret på litteraturstudiet af Rahman og Szabó [2021], er pareto ($n = 21$) og weighted sum ($n = 18$) de mest anvendte metoder til vurdering af MOLA-løsningsforslag. Dette er konstateret ud fra et sample på 55 videnskabelige artikler om brugen af MOLA-algoritmer til allokering af arealinteresser.



Figur 8.5. Oversigt over metoder anvendt til vurdering af løsningsforslag i MOLA-problemstillinger [Rahman og Szabó, 2021].

I dette projekt benyttes en pareto-baseret tilgang til vurdering af de forskellige løsningsforslag. Dette gøres med afsæt i NSGA-II⁶ varianten af genetiske algoritmer, der anvender en pareto-baseret tilgang. NSGA-II er valgt, da den i flere studier er demonstreret til at kunne levere reliabilitet, nøjagtighed og effektivitet, og som nævnt i afsnit 8.3.1 er en af de mest benyttede metoder til MOLA. En af fordelene ved den pareto-baserede udvælgelsestilgang til parring og overlevelse i NSGA-II er, at metoden er med til at sikre en vis grad af diversitet i populationen. [Deb et al., 2002; Song og Chen, 2018b; Cazacu, 2016]

8.3.3 Spatiale datamodeller

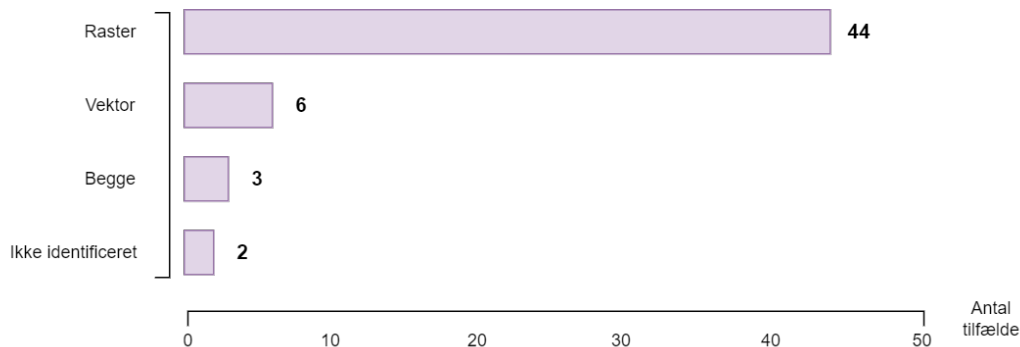
Som det fremgår af figur 8.6 på næste side, forekommer der er klar overvægt af studier, hvor der tages udgangspunkt i en rasterbaseret datamodel ved udvikling af værktøjer til løsning af MOLA-problemstillinger. Studiet af Rahman og Szabó [2021] viste, at 80% ($n = 44$) af de undersøgte artikler tog udgangspunkt i en rastermodel, hvorimod kun seks brugte vektordata.

Der er fordele og ulemper forbundet med både brugen af raster og vektor datamodeller ved allokering af arealanvendelser. Hvor vektorbaserede modeller ofte giver en mere intuitiv repræsentation af objekter fra den virkelige verden og medfører en højere beregningsmæssig effektivitet som resultat af et lavere antal spatiale enheder, er de indbyrdes rumlige relationer i rastermodeller mere ligetil [Rahman og Szabó, 2021]. En anden fordel ved at anvende en rasterbaseret tilgang er, at det giver en større grad af fleksibilitet - eksempelvis er arealanvendelsen i vektorobjekter

⁶Først foreslået af Deb et al. [2002]

uniform, hvorimod de samme objekter i raster kan inddeles i mindre enheder med hver sin arealanvendelse [Li og Parrott, 2016].

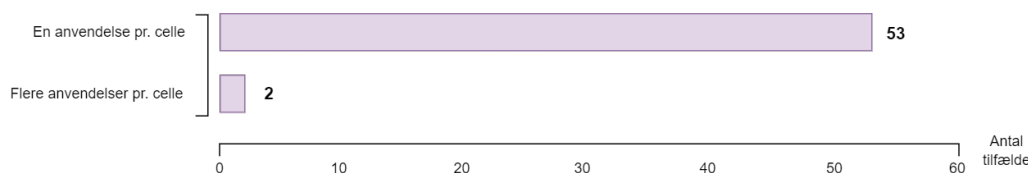
I dette projekt er der valgt at tage udgangspunkt i den fremherskende tilgang med rasterbaserede modeller, hvilket følgelig betyder, at der er blevet prioriteret simplicitet og fleksibilitet - på bekostning af intuition og effektivitet.



Figur 8.6. Oversigt over spatiale datamodeller anvendt til løsning af MOLA-problemstillinger [Rahman og Szabó, 2021].

8.3.4 Multifunktionalitet

En af de restriktioner, der ofte sættes for algoritmer anvendt til løsning af MOLA-problemstillinger er, at der udelukkende kan placeres én arealanvendelse i hver celle. Denne pointe tydeliggøres i resultaterne fra litteraturstudiet af Rahman og Szabó [2021], hvor kun 2 af de 55 undersøgte artikler tillod en multifunktionel arealanvendelse med mulighed for flere interesser pr. celle, jf. figur 8.7.



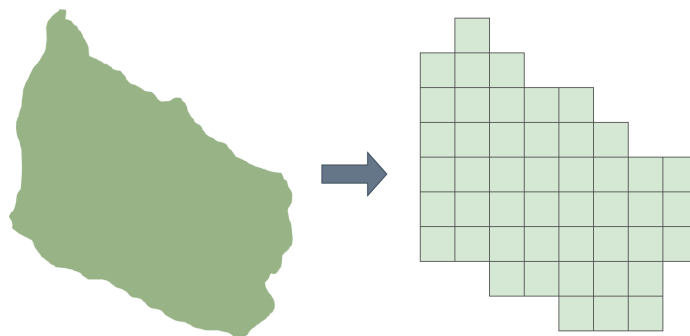
Figur 8.7. Oversigt over hvorvidt, der er anvendt en multifunktionel tilgang til løsning af MOLA-problemstillinger [Rahman og Szabó, 2021].

På baggrund af de konklusioner, der blev draget i kapitel 4, hvor det fremgik at multifunktionalitet bør være en del af løsningen af arealudfordringerne, er det dog oplagt at arbejde med muligheden for at kunne placere kompatible interesser på det samme areal. Af den grund tages der i hovedanalysens øvrige kapitler afsæt i en multifunktionel tilgang til MOLA, hvor det er muligt at have flere anvendelser pr. celle.

Med henblik på at sætte de præsenterede metoder, MCA og MOLA, samt nogle af de dertilhørende begreber ind i en konkret, virkelighedsnær kontekst, indeholder det følgende afsnit en række afklarende, simplificerede visualiseringer.

8.4 Opsummerende begrebsafklaring

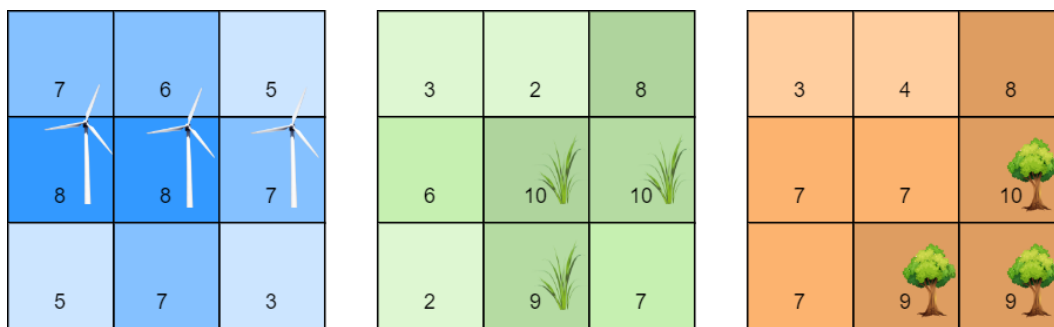
Som det blev konkluderet i afsnit 8.3.3 tages der i dette projekt udgangspunkt i en rasterbaseret model, hvilket indebærer, at algoritmen arbejder med celler, der dækker det pågældende område. Dette er eksemplificeret i figur 8.8, hvor et område omdannes til raster med henblik på, at der skal allokeres arealanvendelser. I det følgende vil der tages afsæt i et område, der har en størrelse på 3 x 3 celler. I praksis vil celler angives i en langt mindre skala, men overdimensioneringen er valgt for at simplificere det følgende.



Figur 8.8. Et område repræsenteret med rasterceller.

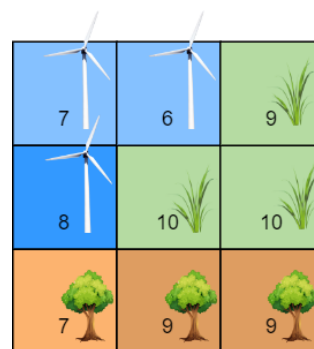
Forud for MOLA-algoritmen, udarbejdes der multikriterieanalyser for hver af de arealinteresser, der indgår i algoritmen. De resulterede suitability maps angiver hvor egnet et areal er for en arealinteresse med udgangspunkt i en række opstillede kriterier. Figur 8.9 på næste side eksemplificerer tre suitability maps for henholdsvis vindmøller, beskyttet natur, samt produktionsskov på det samme areal. I hver celle er der angivet en værdi på en skala fra 1-10 som angiver, hvor egnet hver celle er for den pågældende arealinteresse. På figuren for vindmøller ses det, at cellernes værdier spænder fra 3-8, mens celleværdier for beskyttet natur strækker sig fra 2-10. Der er således en højere variation for, hvor egnede arealerne er i sidstnævnte, hvilket betyder at der er færre muligheder for at placere arealinteressen på højt egnede arealer.

Figur 8.9 illustrerer desuden, hvor det er hensigtsmæssigt at placere arealinteresser på baggrund af multikriterieanalyserne - der er for hver arealinteresse udpeget arealer på størrelse med tre celler. På figurerne for beskyttet natur og produktionsskov er de tre celler med de højeste værdier angivet til at være de bedste områder for arealinteresserne. For figuren med vindmøller ses det, at det udpegede areal kunne placeres anderledes, eftersom flere celler har en værdi på 7.



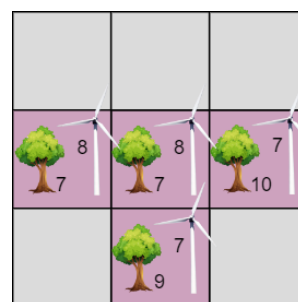
Figur 8.9. Eksemplificering af tre suitability maps for henholdsvis vindmøller, beskyttet natur og produktionsskov på det samme areal.

Multikriterieanalyserne behandler de forskellige arealinteresser individuelt og af den årsag kan der ske overlap - eksempelvis er det fordelagtigt for alle tre arealinteresser på figur 8.9 at placere sig i den midterste celle i højre kolonne. Af denne årsag er det hensigtsmæssigt at arbejde med en MOLA-algoritme, som placerer flere arealinteresser på samme tid, for netop at kunne finde den bedste indbyrdes placering. Dette er eksemplificeret i figur 8.10, hvor de enkelte arealinteresser har fået nye placeringer, for at opnå den mest optimale arealudnyttelse indbyrdes. Dette indebærer også, at der indgås nogle kompromisser, hvor eksempelvis vindmøller er blevet tildelt en placering med en egnethedsværdi på 6.



Figur 8.10. Indbyrdes placering ved brug af MOLA.

I afsnit 8.3.4 blev der valgt at tage afsæt i en algoritme, der giver mulighed for en multifunktionel arealanvendelse. Multifunktionalitet indebærer, at flere arealinteresser kan kombineres på samme arealer. Som et eksempel, kan vindmøller placeres på arealer, hvor der er skovproduktion, eftersom vindmøller strækker sig op over trætoppene [Lawaetz, 2009]. Med udgangspunkt i de tre suitability maps på figur 8.9, illustrerer figur 8.11 hvor produktionsskov og vindmøller kan kombineres. Her tages der afsæt i de celler, hvor de to arealinteresser begge har en egnethed på over 7. Med afsæt i dette, kan den midterste celle i venstre kolonne i figur 8.10 både inkludere vindmøller og produktionsskov.



Figur 8.11. Multifunktionel arealanvendelse ved vindmøller og produktionsskov.

8.5 Sammenfatning

På baggrund af konklusionerne i de ovenstående afsnit, bliver der foretaget følgende afgrænsninger for multikriterieanalyserne og udviklingen af MOLA-algoritmen i hovedanalysens øvrige kapitler:

- Der tages afsæt i MCA-metoden weighted sum, hvor de enkelte kriterier tildeles en vægt, som herefter akkumuleres. Produktet heraf er n suitability maps, der anvendes som inputs til MOLA-algoritmen.
- Til løsning af MOLA-problemstillingen med allokering af de pågældende arealinteresser anvendes en genetisk algoritme, der imiterer mekanismerne fra teorier om naturlig selektion.
- Der tages udgangspunkt i NSGA-II's pareto-baserede tilgang til vurdering af løsningsforslag.
- Der anvendes en rasterbaseret datamodel.
- Der tages udgangspunkt i en multifunktionel tilgang til MOLA, hvor det er muligt at have flere anvendelser i hver celle.

Multikriterieanalyse 9

Som led i at evaluere den MOLA-algoritme, der udvikles i næste kapitel, er der behov for at tage afsæt i en specifik, virkelighedsnær case. Som nævnt i afsnit 8.1 er forudsætningen for dette, at der udvælges arealinteresser, som vurderes enkeltvis gennem multikriterieanalyser i forhold til deres geografiske egnethed. Resultatet heraf er suitability maps, hvilket udgør det primære input til MOLA-algoritmen. Datagrundlaget og outputtet heraf præsenteres i slutningen af kapitlet.

9.1 Udvalgelse af arealinteresser

Forud for at kunne eksekvere en MOLA-algoritme skal der udarbejdes en multikriterieanalyse for hver af de arealinteresser, der skal indgå i algoritmen (jf. 8.1). Med udgangspunkt i et tidligere studie af Strauch et al. [2019] anbefales det at arbejde med maksimalt fire arealinteresser i en pareto-baseret algoritme, hvilket er metoden der anvendes i dette projekt, jf. afsnit 8.3.2. Af denne grund afgrænses casen til fire arealinteresser. Dette medvirker også til at kompleksiteten af løsningsrummet reduceres, hvilket gør resultatet mere overskueligt.

Af de mange arealinteresser i det åbne land, er der valgt at tage afsæt i solceller, vindmøller, lavbundslande og grønne korridorer. Baggrunden for udvælgelsen af disse fire, gennemgås i det følgende, men udvælgelsen skyldes primært deres repræsentativitet og egnethed for metodeudviklingen, hvor de har forskellige forudsætninger og betingelser for placering.

De fire arealinteresser placeres på landbrugsjord, hvilket betyder, at landbrugsjorden skal tages ud af drift. Landbrugsjord er ikke valgt som en egentlig arealinteresse, men er indarbejdet og vægtet i de enkelte multikriterieanalyser for de fire arealinteresser, således at god landbrugsjord som udgangspunkt ikke tages ud af drift. Dette beskrives nærmere i afsnit 9.2.

Med udgangspunkt i den nylige målsætning om at øge produktionen af vedvarende energi på land, som er beskrevet i kapitel 4, er solceller og vindmøller to af de arealinteresser, der indgår i modellen. Foruden den fælles problematik med at begge energianlæg kan virke visuelt skæmmende i landskabet, er der også forskellige problematikker knyttet til de enkelte anlæg. For vindmøller følger der ofte en støjproblematik, og for solcelleanlæg er problematikken blandt andet, at de med deres størrelse kan virke som en barriere i landskabet og ændre vegetationen.

Foruden målsætningen om at fremme vedvarende energianlæg, er der også valgt at inddrage målsætningen om at øge naturarealer. En målsætning som lyder, at 30% af EU's areal skal være natur, hvilket er beskrevet nærmere i afsnit 4.2

på side 24. Naturarealer kan bestå af en lang række forskellige naturtyper, og med udgangspunkt i en selvstændig målsætning om, at 100.000 ha lavbundsjord skal udtages af landbrugsjord, vælges denne som en arealinteresse for modellen. Endvidere vælges grønne korridorer som en arealinteresse inden for kategorien natur. Ifølge Nygaard [2011] er grønne korridorer naturarealer, der har til formål at skabe sammenhængende levesteder for forskellige dyrearter, og dermed mindske det fragmenterede naturlandskab.

Årsagen til, at netop grønne korridorer er valgt som en arealinteresse, skyldes at deres præfererede udformning skiller sig ud fra de øvrige arealinteresser - i form af, at det for grønne korridorer gælder, at det er vigtigt, at arealerne er sammenhængende. Dette er ikke tilfældet i samme grad for de øvrige arealinteresser, hvor det antages at kompakthed vægtes højere. Ved at vælge arealinteresser der har forskellige præfererede udformninger, er der mulighed for at evaluere MOLA-algoritmens evne til at behandle begge.

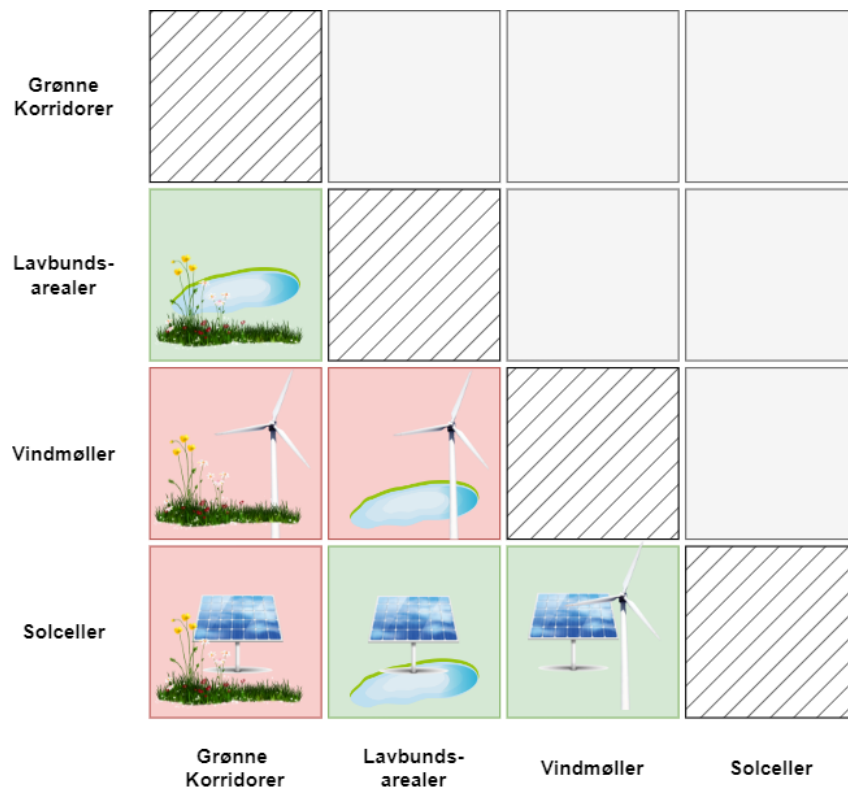
9.1.1 Multifunktionelle arealinteresser

Som tidligere beskrevet er det svært at få plads til alle de ønsker og målsætninger, der er for det danske areal. Noget som kan mindske problematikken vedrørende den begrænset arealressource er multifunktionel arealanvendelse, jf. afsnit 4.2.1. Som beskrevet i afsnit 8.3.4, vil der af denne årsag indbygges multifunktionalitet som en kapabilitet i MOLA-algoritmen, hvor der skabes mulighed for kombinere visse arealinteresser på samme arealer.

På figur 9.1 på næste side fremgår hver af de fire udvalgte arealinteresser i et matrixdiagram, hvor det angives om arealinteresserne kan forenes og være multifunktionelle eller bør holdes adskilte.

Af figuren fremgår det, at vindmøller ikke kan forenes med grønne korridorer og lavbundsarealer, og at solceller ikke kan forenes med grønne korridorer. Altså er der tre ud af seks kombinationer, der ikke er kompatible.

De resterende tre kombinationer, som er markeret med grønne felter i figuren, fastsættes i MOLA-algoritmen til kunne indgå multifunktionelt. Solceller kan således placeres sammen med både vindmøller og lavbundsarealer, og lavbundsarealer kan desuden kombineres med grønne korridorer. Hvorvidt lavbundsjord egentlig kan kombineres med grønne korridorer er usikkert, men er blot en antagelse der fastsættes i dette projekt forud for udarbejdelsen og evaluering af MOLA-algoritmen. Derimod er det reelt, at solceller og vindmøller kan placeres på samme arealer, da kombinerede solcelle og vindmølleparker tidligere er planlagt for, eksempelvis i et projekt ved Brorstrup af Wind Estate A/S [2022]. Som tidligere beskrevet i afsnit 4.2.1, er muligheden for at placere solcelleanlæg på eksempelvis lavbundsarealer beskrevet i kilaaftalen. Af samme årsag er denne kombination også angivet som værende multifunktionel.



Figur 9.1. Matrix-diagram med hver af de fire arealinteresser. Røde felter markerer de kombinationer af arealinteresser, der ikke er kompatible, mens grønne felter angiver de arealinteresser, der kan kombineres på et areal.

9.2 Suitability maps

I dette afsnit vil resultaterne for multikriterieanalyserne blive præsenteret. Da multikriterieanalyse ikke er det primære fokusområde for dette projekt, beskrives den benyttede data og de udviklede modeller ikke detaljeret. I stedet beskrives det kort, hvilken data der er benyttet og med hvilke formål. I bilag D kan der findes en oversigt over den benyttede data og dertilhørende kilder, mens der i bilag E fremgår afbildringer af de modeller der er udarbejdet.

Udarbejdelsen af modellerne for multikriterieanalyserne udgør en underdel af 'formulate model' trinnet i modellen af Demetriou [2014], som blev præsenteret i afsnit 6.2.3 på side 44. De resulterende suitability maps bliver i kombination med MOLA-algoritmen efterfølgende baggrunden for at kunne gennemgå de følgende trin, der udgør den anden del af 'formulate model' trinnet, hvilket beskrives nærmere i kapitel 10.

Det er valgt at benytte Morsø Kommune som caseområde i dette projekt. Dette er først og fremmest valgt, da kommunen ifølge Danmarks Statistik [2021] er blandt dem med størst procentmæssig landbrugsareal, hvilke betyder at der er en tilpas mængde areal, der potentielt kan udtages med henblik på andre arealanvendelser. Derudover er kommunen en ø, hvilket indebærer, at der er en naturlig afgrænsningen af den benyttede data, hvilket er mere virkelighedsnært i et planlægningshenseende.

Valget af cellestørrelse er en afvejning af, hvor nøjagtigt modellen afspejler virkeligheden og hvor lang beregningstiden er - her refereres primært til beregningstiden i MOLA-algoritmen, da beregningstiden af selve multikriterieanalyserne er beskeden i forhold hertil. Det er i den forbindelse valgt, at de udarbejdede suitability maps har en cellestørrelse på 50 meter, hvilket giver dem en dimension på 537x702 celler. I de præsenterede suitability maps vil restrictede områder¹ være markeret med gråt. Disse celler vil ikke kunne allokeres til de pågældende arealanvendelser. Alle de præsenterede suitability maps kan også findes i det eksterne bilag.

Udregning af dyrkningsværdi

Selvom landbrug ikke er en af de arealinteresser, der skal allokeres i MOLA-algoritmen, er jordens dyrkningsværdi stadig relevant for hvor der skal udtages landbrugsjord, da den bedste landbrugsjord som udgangspunkt bør bevares til formålet. Derfor udføres en multikriterieanalyse af dyrkningsværdi, hvis resultat indgår som datagrundlag for de fire suitability maps, der fungerer som input til MOLA-algoritmen. Til denne analyse inddrages følgende datasæt:

- Jordbund, da forskellige jordtyper har forskellige udbyttенormer [Landbrugsstyrelsen, 2019].
- Værdifulde landbrugsområder, da de bedste landbrugsområder skal forsøges bibeholdt.
- Drikkevandsinteresser, da udtagning af landbrugsjord på disse arealer kan reducere forureningen af drikkevand [DANVA, 2022].
- Matrikulær ejendomsdata, for at restricte områder uden landbrugsnotering, da det kun er landbrugsjord der skal udtages til fordel for andre arealanvendelser jf. afsnit 9.1.

9.2.1 Multikriterieanalyse - vindmøller

Følgende data er brugt i denne multikriterieanalyse:

- Dyrkningsværdi - der dog vægtes lavere end ved de øvrige arealinteresser, da landbrugsjorden fortsat kan dyrkes på vindmølleområder.
- Juridisk beskyttede områder (strandbeskyttelse, naturbeskyttelsesområde, Natura2000, fredede områder, beskyttede naturtyper), da der som udgangspunkt ikke kan placeres vindmøller i disse områder.
- Bevaringsværdige landskaber, da disse som udgangspunkt skal holdes frie for byggeri og tekniske anlæg med henblik på at bevare oplevelsen af landskabet [Erhvervsstyrelsen, 2018].
- Potentiel vindenergi, da der er større potentiale for at generere vindenergi i nogle områder end andre [Global Wind Atlas, 2023].
- BBR data, for at udregne beboelsestætheden, med henblik på at placere vindmøller i tyndtbefolkede områder og med hensyn til gældende lovgivning vedrørende beboelse nær vindmøller.

Det udarbejdede suitability map for vindmøller kan ses på figur 9.2.

¹Områder der ikke tildeles en numerisk værdi, da de ikke er egnede til et givent formål

9.2.2 Multikriterieanalyse - solceller

Følgende data er brugt i denne multikriterieanalyse:

- Dyrkningsværdi.
- Juridisk beskyttede områder (strandbeskyttelse, naturbeskyttelsesområde, Natura2000, fredede områder, beskyttede naturtyper), da der som udgangspunkt ikke kan placeres solceller i disse områder.
- Bevaringsværdige landskaber, da disse som udgangspunkt skal holdes frie for byggeri og tekniske anlæg med henblik på at bevare oplevelsen af landskabet [Erhvervsstyrelsen, 2018].
- Potentiel solenergi, da der er større potentiale for at generere solenergi i nogle områder end andre [Global Solar Atlas, 2023].
- Vedtagne lavbundsarealer, da solceller med fordel kan placeres på lavbundsarealer [Regeringen, m.fl., 2022a, s. 7].

Det udarbejdede suitability map for solceller kan ses på figur 9.3.

9.2.3 Multikriterieanalyse - lavbundsudtagning

Følgende data er brugt i denne multikriterieanalyse:

- Dyrkningsværdi.
- Tekstur2014, der viser hvor meget tørv, som er i jorden, da dette er en betydelig kilde til CO₂-udledning og dermed med fordel kan udtages [Andreasen, 2020].
- Vedtagne lavbundsarealer, da disse er udpeget i kommuneplanen som lavbundsarealer.

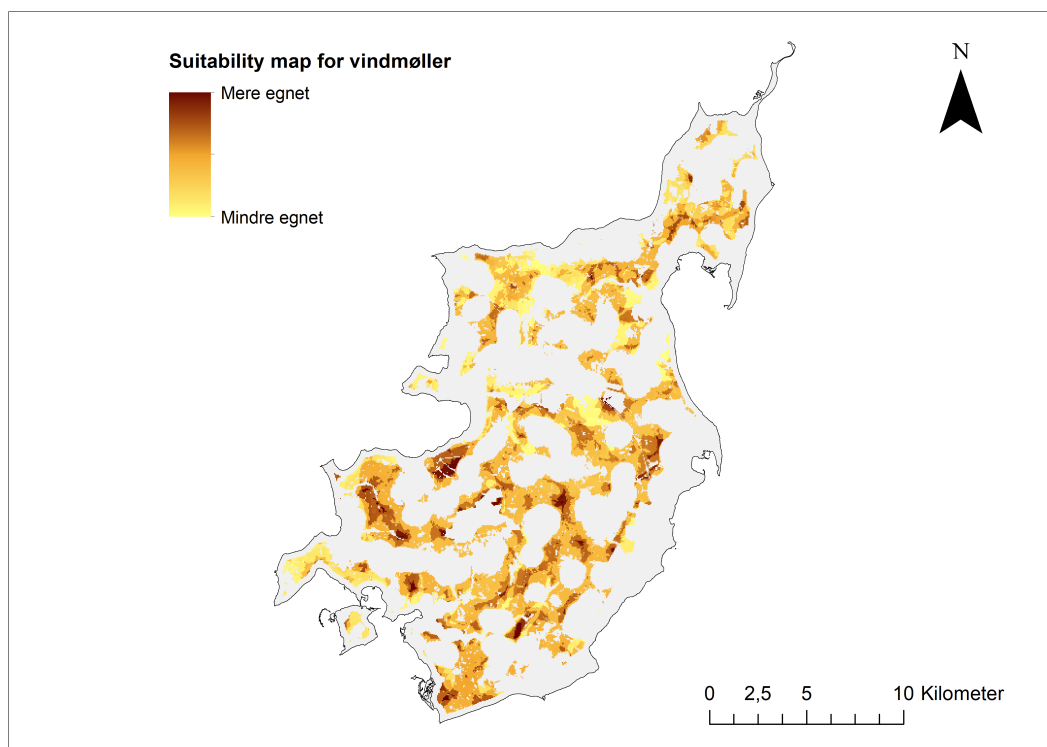
Det udarbejdede suitability map for lavbundsudtaning kan ses på figur 9.4.

9.2.4 Multikriterieanalyse - grønne korridorer

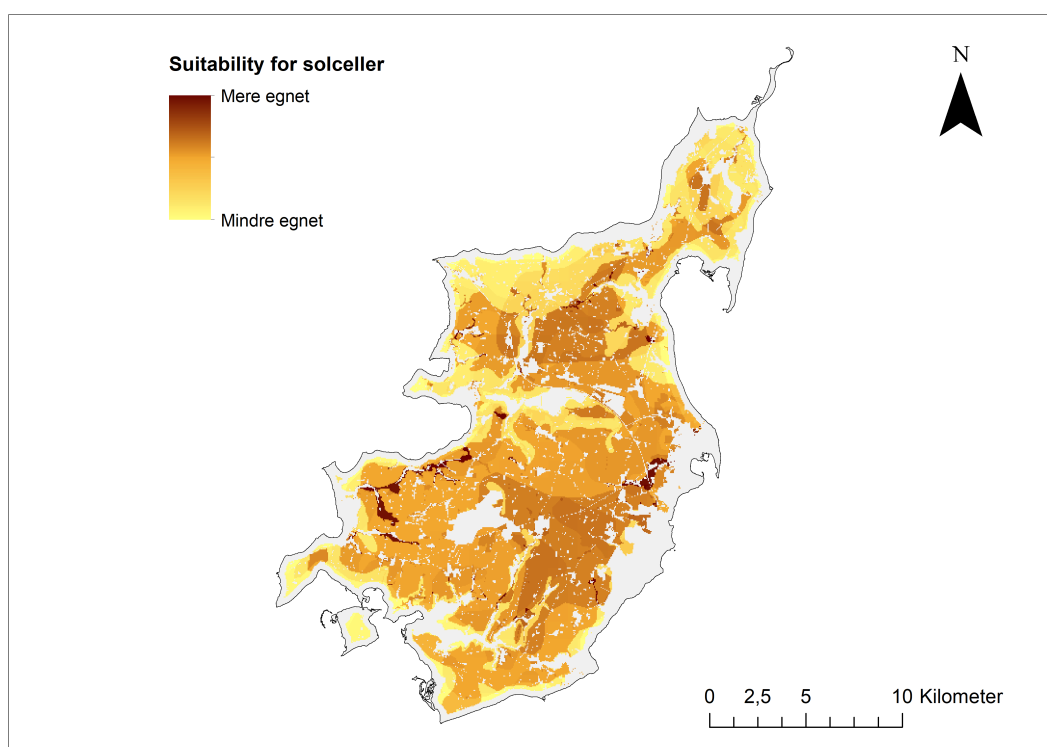
Følgende data er brugt i denne multikriterieanalyse:

- Dyrkningsværdi
- High Nature Value, da det vurderes ønskværdigt at placere grønne korridorer der, hvor der er højere naturværdi
- Potentielle økologiske forbindelser, der omfatter korridorer og ledelinjer til at sammenbinde naturområder, for at gavne levedygtigheden for levende organismer [Miljøministeriet, 2023]

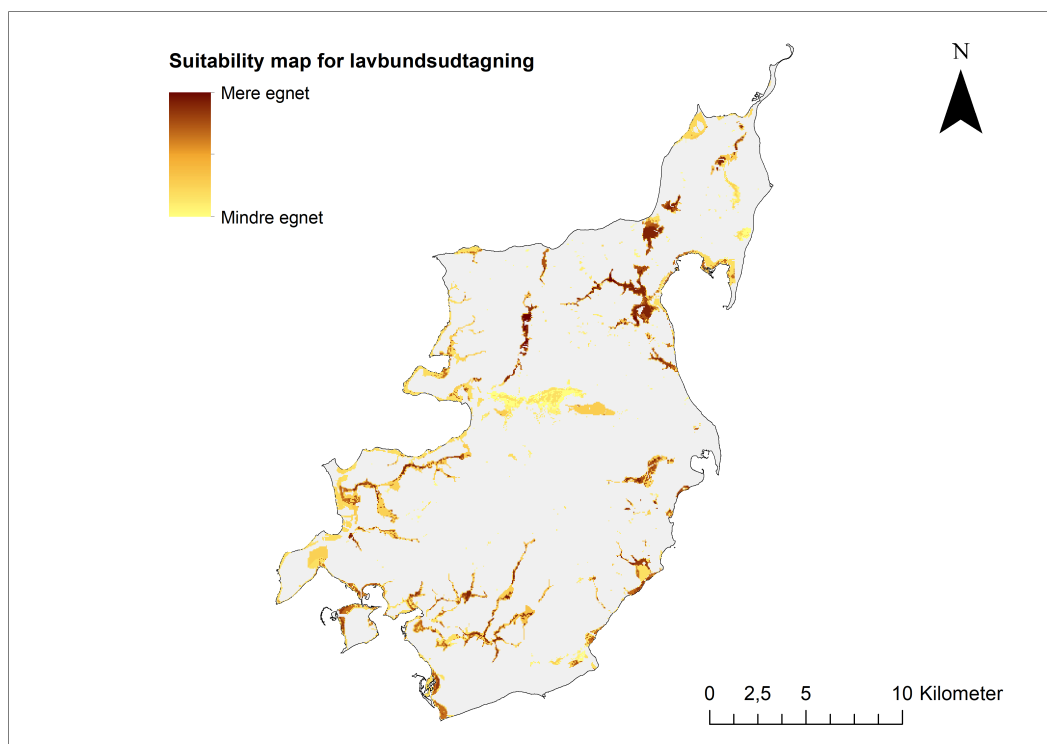
Det udarbejdede suitability map for grønne korridorer kan ses på figur 9.5.



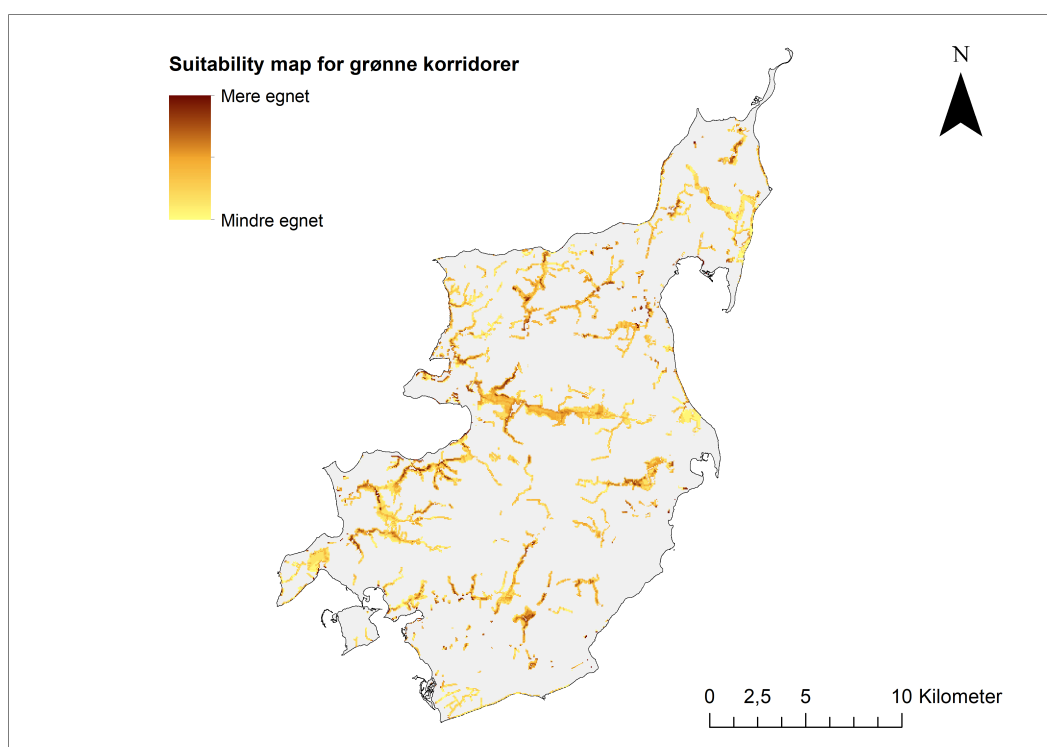
Figur 9.2. Suitability map for vindmøller på Mors. Grå områder indikerer uegnethed til placering af vindmøller.



Figur 9.3. Suitability map for solcelleanlæg på Mors. Grå områder indikerer uegnethed til placering af solceller.



Figur 9.4. Suitability map for udtagning af lavbundsjordrer på Mors. Grå områder indikerer uegnethed til udtagning af lavbundsareal.



Figur 9.5. Suitability map for grønne korridorer på Mors. Grå områder indikerer uegnethed til placering af grønne korridorer.

9.3 Konklusion

Det er valgt at arbejde med fire arealinteresser i den MOLA-algoritme, der udvikles i dette projekt; vindmøller, solceller, lavbundsudtagning og grønne korridorer. Disse er valgt på baggrund af politiske målsætninger, samt deres repræsentativitet i forhold til forskelligheder i spatiale målsætninger. Her er særligt grønne korridorer valgt, da disse så vidt muligt skal placeres i forlængelse af hinanden for at opnå samlede naturområder. For at adressere udfordringerne med manglende arealressourcer til at opfylde politiske målsætninger, er det også valgt at arbejde med multifunktionalitet i MOLA-algoritmen.

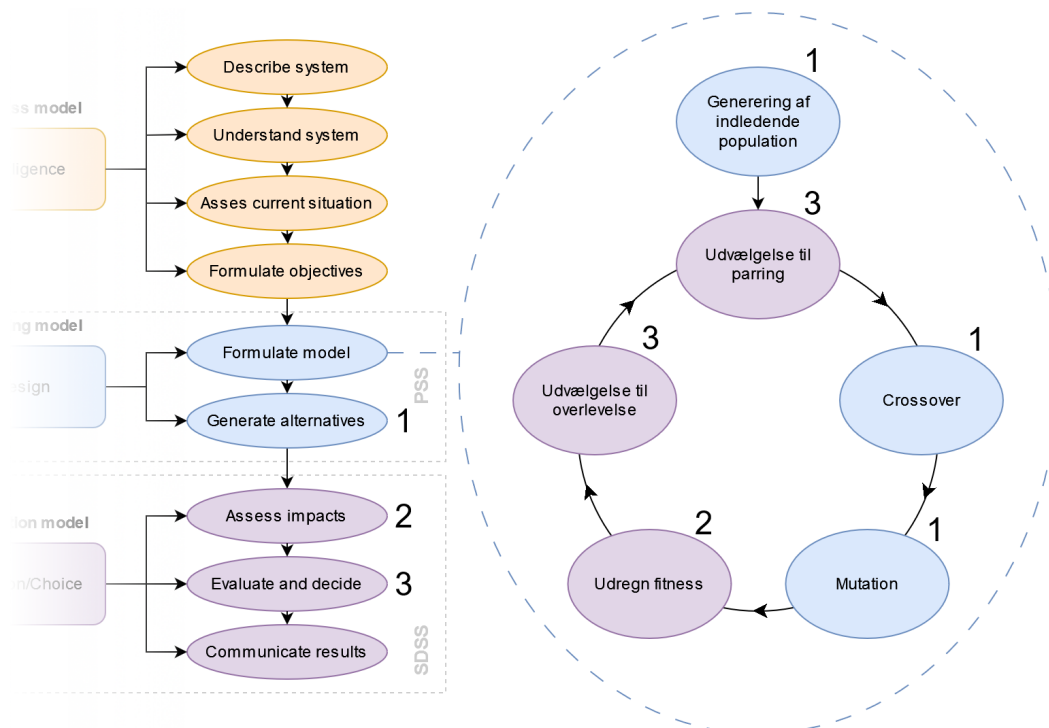
I forbindelse med udarbejdelsen af de fire suitability maps, er Morsø Kommune valgt som caseområde - primært på grund af den store mængde landbrugsjord. De fire suitability maps vil blive benyttet som input i den MOLA-algoritme, hvis udvikling vil blive beskrevet i næste kapitel.

Udvikling af MOLA-algoritme

10

I dette kapitel vil der blive præsenteret en genetisk algoritme, der er udviklet i forbindelse med dette projekt, med det formål at løse den specifikke optimeringsopgave, der blev skitseret i kapitel 9. Algoritmens designprincipper er derfor tilpasset til de specifikke krav og begrænsninger, der er gældende for den pågældende optimeringsopgave. Disse vil blive opsummeret i afsnit 10.1.

Kapitel 9, hvor der blev udviklet modeller til udarbejdelsen af suitability maps, gennemgik den første del af 'formulate model' trinnet, der er en del af designfasen i Demetrious IPDSS-framework, som blev præsenteret i afsnit 6.2.3. Dette kapitel er en gennemgang af den efterfølgende del af dette trin, hvor der udvikles en MOLA-algoritme, hvilket er det primære fokusområde for hovedanalysen. Modellen gennemgår her de følgende tre trin i en iterativ proces som fremgår af figur 10.1. Til højre på figuren ses den iterative proces for en genetisk algoritme, som er sat i kontekst af Demetrious IPDSS-framework, der kan ses et udsnit af til venstre. Algoritmefunktionaliteten, der bliver udviklet i dette kapitel, dækker således over elementer fra både design- og decision-fasen.



Figur 10.1. Det overordnede loop for genetiske algoritmer.

Kapitlet starter med en opsummerende kravspecifikation, der er udarbejdet på baggrund af de valg, der er truffet tidligere i rapporten i relation til udviklingen af MOLA-algoritmen. Herefter gennemgås den overordnede tilgang for, hvorledes gener udtrykkes i genetiske algoritmer, samt hvordan arealmæssige restriktioner bliver håndteret. Dette leder op til det centrale afsnit i kapitlet, hvor faserne og designprincipperne i den udviklede genetiske algoritme præsenteres. Afslutningsvist demonstreres den udviklede algoritme på en simplificeret testcase.

10.1 Opsummering af kravspecifikation

Følgende valg er truffet vedrørende udviklingen af en MOLA-algoritme i dette projekt:

- Der skal udvikles en genetisk algoritme, der er baseret på pareto-principperne i NSGA-II, jf. afsnit 8.3.1 og 8.3.2.
- Input til algoritmen er rasterbaserede suitability maps, jf. afsnit 8.3.3.
- Algoritmen skal kunne håndtere fire arealanvendelser, jf. afsnit 9.1.
- Algoritmen skal kunne håndtere multifunktionalitet, jf. afsnit 9.1.1.
- Arealet, der allokeres til arealanvendelserne udgør en delmængde af det tilgængelige landbrugsareal, jf. afsnit 9.1.

Hvorledes disse elementer implementeres, bliver beskrevet løbende i dette kapitel. For at opfylde denne kravspecifikation, er det valgt at udvikle algoritmen i programmeringssproget Python. Kildekoden herfor kan findes i det eksterne bilag.

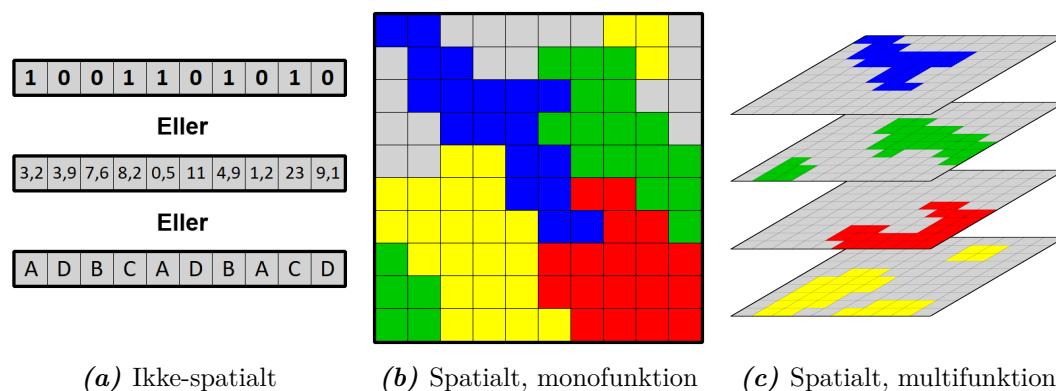
10.2 Tilgang til genudtryk

Som beskrevet i afsnit 8.3.1, består hvert individ/løsningsforslag i en genetisk algoritme af en række gener, der repræsenterer individets egenskaber og har betydning for dets fitness. Fitness benyttes til at vurdere individer i forhold til hinanden og består af en numerisk værdi, der repræsenterer hvor godt et individ opfylder de opstillede målsætninger, hvilket beskrives nærmere i afsnit 10.4.5. Hvorledes gener struktureres og kommer til udtryk, afhænger af hvilken type af genetisk algoritme, der udvikles. I ikke-spatiale genetiske algoritmer kan et individs gener opstilles som en vektor, som set på figur 10.2a. Alt efter typen af algoritme kan generne være udtrykte som enten boolske, kvantitative eller mere komplekse. [Taillard, 2023, s. 202-208]

I forbindelse med rasterbaserede monofunktionelle spatiale problemstillinger, hvilket er den mest gængse type jf. afsnit 8.3, er generne i stedet opstillet i en todimensionel matrice, hvor hvert gen er et udtryk for en arealanvendelse i en celle, som illustreret på figur 10.2b. I spatiale problemstillinger er fitness-bidraget for ethvert gen også afhængigt af deres geografiske sammenhæng i forhold til de øvrige gener, hvilket i sagens natur øger kompleksiteten markant. [Aerts et al., 2005]

Tilføjes multifunktionalitet, hvor hver celle kan have mere end én arealanvendelse, er en todimensionel matrice ikke længere praktisk, da hver celle kun kan indeholde én værdi. I dette projekt er generne derfor i stedet opstillet som en tredimensionel matrice, som illustreret på figur 10.2c. Her repræsenterer hvert lag i den tredje

dimension en arealanvendelse, hvor boolske værdier indikerer om cellen er allokeret til den givne arealanvendelse. Hermed er det muligt at en celle er allokeret til mere end én arealanvendelse. Multifunktionalitet øger derfor kompleksiteten yderligere som resultat af den øgede mængde af løsningsmuligheder.



Figur 10.2. Eksempler på genudtryk i forbindelse med forskellige typer af genetiske algoritmer.

10.3 Tilgang til restriktionshåndtering

I forbindelse med allokering af arealanvendelser vil der i praksis oftest forekomme restriktioner for, hvilke arealanvendelser der kan være hvor. Eksempelvis opstilles vindmøller ikke i tætbeboede områder og lavbundsarealer udtages ikke på højtliggende jorde. Denne type restriktioner refereres til som hårde restriktioner, da individer der bryder dem, er ugyldige. Som det fremgår af kapitel 9, indeholder de suitability maps, der er udarbejdet i forbindelse med dette projekts case hårde restriktioner, hvorfor der skal vælges en måde at håndtere disse på. Ifølge Strauch et al. [2019] findes der tre tilgange til håndtering af hårde restriktioner i MOLA:

1. Reducer fitness på individer, hvis løsningsforslag bryder restriktionerne.
2. Sørg for, at alle genererede løsningsforslag overholder restriktionerne.
3. Indfør en mekanisme, der kan reparere løsningsforslag, så de overholder restriktionerne.

Strauch et al. [2019] konkluderer i den forbindelse, at reparationsmekanismer er bedre end fitness-reduktion i forbindelse med hårde restriktioner. Dette skyldes, at en stor mængde af restriktionsbrydende løsningsforslag bliver genereret, der ikke reelt ville kunne gennemføres og dermed er ugyldige. Strauch et al. [2019] påpeger hertil, at reparationsmekanismer dog har det negative aspekt, at de er beregningsmæssige tunge. Inddragelse af multifunktionalitet vil utvivlsomt øge beregningstiden yderligere, som konsekvens af den øgede kompleksitet. I dette projekt vil der derfor blive udviklet en algoritme, der sikrer at de genererede løsningsforslag overholder de fastsatte restriktioner.

10.4 Den genetiske algoritme

I dette afsnit præsenteres faserne samt designprincipperne i den udviklede genetiske algoritme. For at algoritmen kan eksekveres, kræver det, at brugeren har angivet en række parametre. En mængde af disse parametre relaterer sig til den underlæggende algoritmefunktionalitet - herunder populationsstørrelse, mutationsindstillinger, stopkriterier, etc. Andre parametre vil være mere synlige for det endelige resultat, såsom hvor stort et areal, der skal allokeres til hver af arealanvendelserne, og hvilke arealinteresser, der kan være multifunktionelle.

Som det fremgik af figur 10.1 på side 72, består den udviklede algoritme af seks operationer, hvoraf fem er iterative. I de følgende seks underafsnit gennemgås designprincipperne for disse i forbindelse med den udviklede genetiske algoritme, samt de valg der er truffet i relation hertil. Operationerne er følgende:

1. **Generering af indledende population**, hvor formålet er at skabe en population, der kan benyttes som udgangspunkt i den kommende iterative proces (afsnit 10.4.1).
2. **Udvælgelse til parring**, hvor det vælges hvilke individer, der får muligheden for at videreføre deres gener til en ny generation (afsnit 10.4.2).
3. **Crossover**, hvor de udvalgte individer parres for at krydse deres gener med hinanden for at skabe nye unikke individer (afsnit 10.4.3).
4. **Mutation**, hvor de nyskabte individers gener manipuleres semi-tilfældigt for at skabe potentielle forbedringer og øge diversiteten (afsnit 10.4.4).
5. **Udregning af fitness**, hvor individernes egnethed vurderes, hvilket udgør grundlaget for udvælgelse til parring og overlevelse (afsnit 10.4.5).
6. **Udvælgelse til overlevelse**, hvor det besluttet hvilke individer, der er bedst egnede til at forbedre population, og hvilke der skal udgå (afsnit 10.4.6).

10.4.1 Generering af indledende population

Som tidligere nævnt, samt illustreret på figur 10.1, så er en genetisk algoritme opbygget som en iterativ proces, hvor hver iteration kaldes en generation. For at denne femdelte proces kan påbegyndes, kræver det at der er en indledende population, der kan gennemgå og bearbejdes i de fem operationer. Et sæt af λ individer skabes derfor, så de kan udgøre den første generation. Valget af λ er her en afvejning af optimalitet og eksekveringstid, hvor en højere λ er med til at øge diversiteten i populationen, hvilket øger mængden af undersøgte løsningsforslag og dermed den samlede beregningstid. Jo flere løsningsforslag, der undersøges, desto større sandsynlighed er der for at nærme sig en mere ideel løsning. [Taillard, 2023, s. 199-201]

En almindelig tilgang til at generere den indledende population er at udvælge semi-tilfældige celler til hver arealanvendelse, hvor den geografiske egnethed fra suitability maps inddrages. Dette er igen en afvejning af optimalitet og eksekveringstid, hvor formålet med at inddrage suitability er at skabe løsningsforslag, der stadig er tilfældige, men er tiltet imod hvad der sandsynligvis vil være tættere på de endelige løsningsforslag. I algoritmer, hvor der allokeres med 100% arealdækning, er det også

en mulighed, at en del af de indledende generede individer reflekterer den nuværende arealanvendelse, hvilket dog ikke er relevant for dette projekt. [Li og Parrott, 2016; Aerts et al., 2005; Strauch et al., 2019]

I dette projekt benyttes roulette wheel metoden¹, hvor hver celle tildeles en vægt, der er proportionel med dens suitability til den givne arealinteresse. Chancen for at allokere en given celle er herefter proportionel med dens vægt. Et eksempel med 4x4 celler er illustreret på figur 10.3, hvor hver celle er angivet med dens suitability samt dens procentvise chance for at blive valgt. [Taillard, 2023, s. 203]

1 (4%)	1 (4%)	2 (8%)	3 (12%)
0	2 (8%)	4 (16%)	5 (20%)
0	1 (4%)	3 (12%)	2 (8%)
0	0	0	1 (4%)

Figur 10.3. Eksempel på roulette wheel metoden, hvor celler har forskellige sandsynlighed for at blive valgt på baggrund af deres suitability. Den procentvise chance for udvælgelse er angivet i parentes.

Efter den indledende generation, bestående af λ individer, er blevet genereret, udregnes deres fitness, da den er relevant for udvælgelse til parring. Den nærmere process for fitness-udregning bliver beskrevet i afsnit 10.4.5, da det er her den normalt vist bliver udregnet i den genetiske algoritmes iterative proces.

10.4.2 Udvalgelse til parring

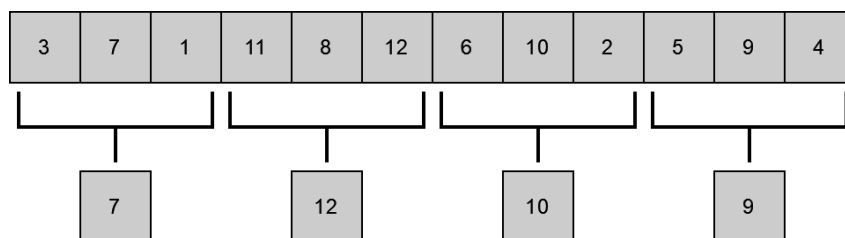
Formålet med denne del af algoritmen er at udvælge, hvilke individer der skal videregive deres gener til nye individer. Skabelsen af et nyt individ sker i genetiske algoritmer ved at udvælge to eksisterende individer, som hver videregiver en del af deres gener. Denne proces gentages indtil λ nye individer er skabt, hvilket udgør en ny generation. [Taillard, 2023, s. 199-202]

En naturlig konsekvens af heuristiske algoritmer er, at de kan blive fanget i et lokalt optimum [Song og Chen, 2018a]. Et vigtigt aspekt i at reducere risikoen for dette er at sørge for, at populationen har en høj diversitet, da dette medfører, at flere forskellige retninger af løsningsmuligheder afprøves. Udvalgelsen af hvilke individer, der får lov til at parre sig, er en af de operationer, som har betydelig indvirkning på graden af diversitet, der bibeholdes i populationen. Samtidig giver udvalgelsen også mulighed for at favorisere individerne med højere fitness (elitisme), så de kan videregive deres ønskværdige egenskaber, hvilket er en af hovedteserne ved genetiske algoritmer. Diversitet og elitisme er to målsætninger der ofte kan være modstridende, og der skal derfor findes en balance mellem dem. [Li og Parrott, 2016; Song og Chen, 2018b]

¹Også kaldt proportional selection

En ofte benyttet metode for udvælgelse til parring er tournament selection, hvilket også er den metode, som var implementeret i den originale NSGA-II algoritme fra studiet af Deb et al. [2002]. Metoden er både effektiv og giver mulighed for at justere selection pressure, hvilket er et mål for i hvilken grad mere egnede individer forfordes. Af disse årsager er det valgt at benytte denne metode i projektet. Den grundlæggende fremgangsmåde for tournament selection er at udvælge p individer, hvorfra det mest egnede individ bliver udvalgt til at parre sig. Da der, som beskrevet i afsnit 8.3.2, benyttes NSGA-II tilgangen til at vurdere individer i forhold til hinanden i dette projekt, benyttes pareto-værdier til at vurdere hvilket individ, der er mest egnet. Ved brug af andre tilgange vil det typisk være fitness, der bliver benyttet. Da pareto-værdier udregnes i forbindelse med udvælgelse til overlevelse, bliver dette nærmere beskrevet i afsnit 10.4.6. [Deb et al., 2002; Miller og Goldberg, 1995]

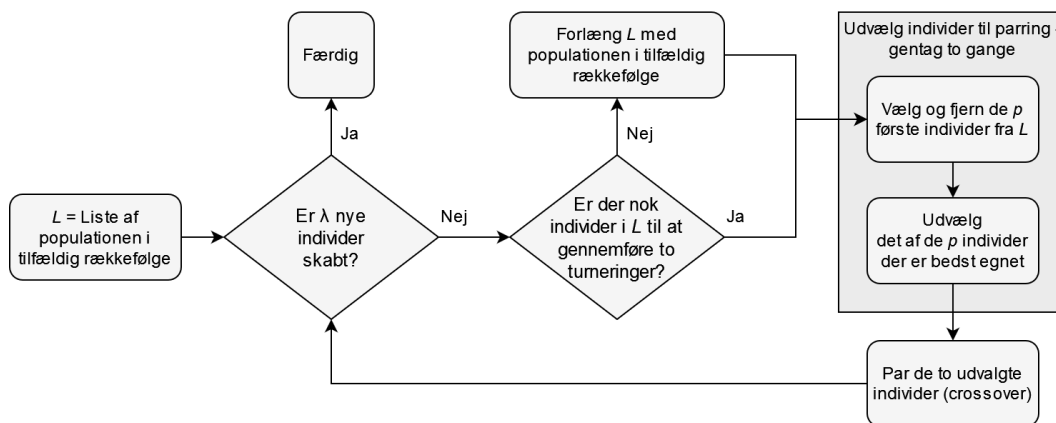
Typisk udvælges individerne til tournament selection tilfældigt, hvilket også er tilfældet i dette projekt. Dette fremgår af figur 10.4, hvor en illustration af udvælgelse gennem tournament selection kan ses. Her er individerne opstillet i tilfældig rækkefølge, og grupper af tre udvælges til at indgå i en turnering, hvor det bedst rangerede individ udvælges til at parre sig. I dette eksempel er populationen 12 og $p = 3$, hvilket medfører, at der udvælges fire individer (rang 7, 12, 10 og 9). Metoden, der er vist på figuren, er en no-replacement strategi, som indebærer, at individer der er udvalgt til at deltage i en turnering, bliver fjernet fra puljen af fremtidige potentielle deltagere. Når puljen af potentielle deltagere bliver udtømt, bliver den genfyldt så alle individer igen har chancen for at deltage. På denne måde sikres det, at hvert individ deltager i lige mange turneringer, hvilket bidrager til at opretholde diversitet.



Figur 10.4. Eksempel på tournament selection, hvor populationsstørrelsen er 12 og $p = 3$. Tallene i kasserne indikerer individernes indbyrdes rangering.

Et flowdiagram for algoritmen for udvælgelse til parring kan ses på figur 10.5. Listen L refererer her til en opstillingen af populationen i tilfældig rækkefølge, som det var illustreret på figur 10.4. I boksen på højre side af figur 10.5 ses det, at individerne i L bliver fjernet fra listen når de har deltaget i en turnering, hvilket skyldes den no replacement strategi, der sikrer at hvert individ deltager i lige mange turneringer. Som nævnt medfører denne metode, at listen L på et tidspunkt bliver udtømt, hvorfor der på midten af figur 10.5 ses, at listen bliver forlænget, hvis der ikke er nok individer til at udvælge to individer igennem to turneringer.

Efter hele processen er færdig er der skabt λ nye individer, hvilket fordobler den samlede population til 2λ individer.



Figur 10.5. Flowdiagram for udvælgelse til parring.

Valget af p -værdi har betydning for selection pressure, hvilket igen er en afvejning af diversitet og elitisme². Jo højere p , og dermed selection pressure er, desto hurtigere vil population konvergere, da diversiteten vil falde til fordel for højere fitness. Valget mellem diversitet og fitness er altså endnu en afvejning af den endelige løsnings optimalitet og den tid, som det tager at beregne løsningen.

10.4.3 Crossover

I forbindelse med crossover bruges begreberne forældre og afkom³, hvor forældrene er de individer, der er udvalgt til parring, og afkommet er resultatet heraf. Målet med crossover er at skabe afkom, der er forskellig fra deres forældre, men besidder nogle af de samme ønskværdige egenskaber, der har gjort at forældrene hidtil har overlevet. Ved at blande gener opnås på samme tid en højere diversitet og en mulighed for at skabe innovative løsningsforslag. [Taillard, 2023, s. 204]

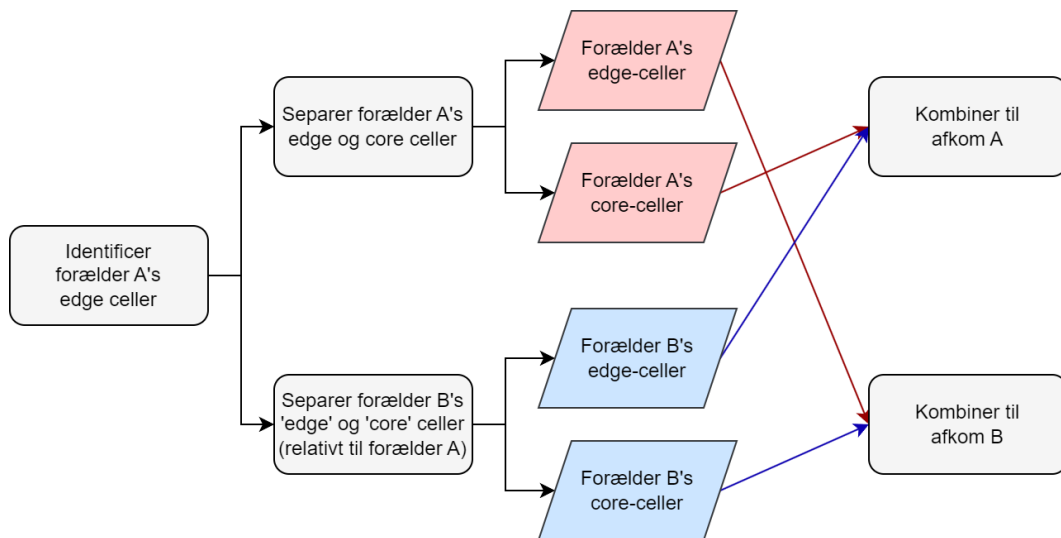
I ikke-spatiale genetiske algoritmer er den konventionelle tilgang at udvælge tilfældige dele af forældrene. Denne tilgang er dog ikke egnet til spatiale problemstillinger, da dette vil lede til, at arealinteresserne i afkommet vil blive fragmenterede. [Aerts et al., 2005; Taillard, 2023, s. 205-208]

I litteraturen findes flere forskellige bud på, hvorledes crossover kan udføres i spatial kontekst. I dette projekt er der taget udgangspunkt i en metode, der er foreslået af Song og Chen [2018b], kaldet edge-crossover, som er udviklet med henblik på at lave en forbedret version af NSGA-II i MOLA-kontekst. Algoritmen af Song og Chen [2018b] er senere blevet sammenlignet med et andet studie med lignende formål. Her konkluderede Gao et al. [2020], at algoritmen af Song og Chen [2018b] var bedre til at bevare diversitet og skabte bedre løsninger set fra et brugermæssigt perspektiv. Dog var algoritmen ikke ligeså effektiv i dens eksekveringstid. Der skal gøres opmærksom på, at denne sammenligning omfattede algoritmerne som helhed og ikke blot crossover-operatoren.

²Graden af elitisme vurderes ud fra, hvor sandsynligt det er, at de mest egnede individer tilgodeses frem for mindre egnede

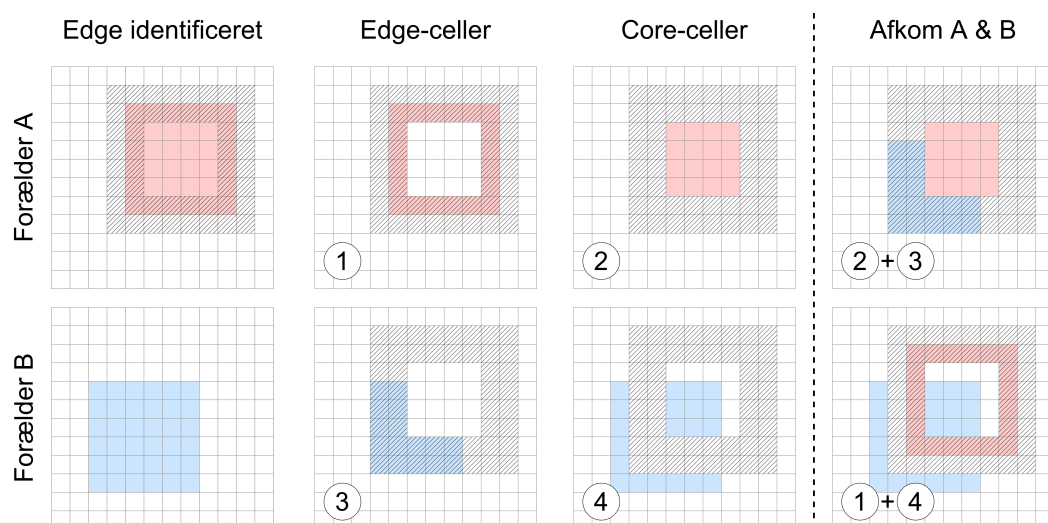
³På engelsk parents og offspring/children

Crossover-metoden baseret på studiet fra Song og Chen [2018b], der er implementeret i dette projekt, fungerer ved at inddele projektområdet i to zoner baseret på en af forældrenes allokerede celler. Et flowchart af crossover-metoden ses på figur 10.6 og en tilhørende grafisk illustration af processen fremgår af figur 10.7.



Figur 10.6. Flowchart af crossover-metoden.

Det ses på figurene, at alle celler først klassificeres som enten edge- eller core-celler - baseret på den ene af forældrenes allokerede celler. En core-celle er en celle, hvis omkringliggende otte naboer er allokeret med den samme arealanvendelse som cellen selv, mens edge-celler er de celler hvor dette ikke er tilfældet. På figur 10.7 er edge-celler skraverede. Efter at cellerne er klassificeret, inddeles projektområdet i to geografiske zoner - en der består af edge-celler, og en der består af core-celler. I det ene afkom sammensættes den ene forælders core-celler med den anden forælders edge-celler, mens det modsatte gøres i det andet afkom. Dermed har to forældre skabt to nye afkom, der udgør nye individer i populationen.



Figur 10.7. Grafisk illustration af processen for crossover-metoden, hvor de farvede områder repræsenterer allokerede celler fra hver af forældrene.

10.4.4 Mutation

Efter crossover fortages der mutation af de nyskabte individer. Formålet er her at introducere en vis grad af tilfældighed og diversitet til populationens genetiske arvmasse, hvilket bidrager til at udforske flere mulige løsninger, samt undgå at algoritmen sidder fast i et lokalt optimum. Hvor crossover kopierer forældrenes gener i en ny sammensætning, ændres de i mutation i stedet tilfældigt, uafhængigt af forældrene eller den øvrige populations gener. Dette er nødvendigt, da den genetiske algoritme ellers risikerer at konvergere for hurtigt mod et lokalt optimum, hvis der ikke er tilstrækkelig diversitet i populationen. [Taillard, 2023, s. 209]

I litteraturen findes flere bud på, hvorledes mutation kan udføres. Præmisserne i dette projekt adskiller sig dog - både i forhold til, at alle individer skal overholde restriktioner (jf. afsnit 10.3) og at der ikke allokeres for 100% arealdækning. Dette er atypisk, og det er derfor valgt at udvikle en ny metode, som er egnet til at imødekomme disse præmisser.

Den udviklede metode fungerer i stil med metoden, der blev benyttet til at generere den indledende population, hvor celler allokeres enkeltvist i en iterativ proces indtil det ønskede antal er opnået. Den adskiller sig dog først og fremmest ved, at celler udover suitability også vurderes i forhold til de spatiale målsætninger compactness og contiguity, hvis formål og udregningsmetoder vil blive præsenteret nærmere i afsnit 10.4.5 om udregning af fitness.

Den udviklede metode er opdelt i to stadier, hvoraf kun én er benyttet inden for en given generation. Det første mutationsstadie er det primære stadie, og bliver benyttet fra algoritmens påbegyndelse frem til, at population har konvergeret mod en approksimeret optimal løsning, hvor andet stadie efterfølgende bliver brugt til at finpudse løsningsforslagene.

Stadie 1

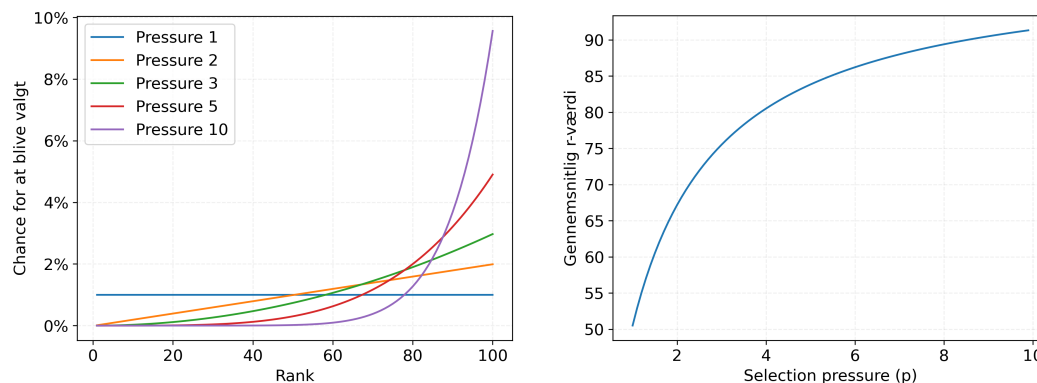
I første mutationsstadie benyttes der rangbaseret udvælgelse til at allokere celler. Formålet med rangbaseret udvælgelse er, ligesom med roulette wheel metoden, at udvælge semi-tilfældige celler, hvor de bedst egnede bliver forfordelt. Forskellen mellem de to er, at roulette wheel udvælger ud fra absolutte værdier, mens rangbaseret gør det ud fra hierarkisk placering. Med andre ord har ratioen mellem cellernes værdi ingen betydningen i rangbaseret udvælgelse, men kun deres indbyrdes numeriske rangering. [Taillard, 2023, s. 202-203]

Det er valgt at benytte rangbaseret udvælgelse frem for roulette wheel metoden, da den af tekniske årsager er mere effektiv til at udvælge celler, når forholdene i de absolutte værdier overstiger en vis ratio, hvilket er tilfældet i den udviklede mutationsmetode. En semi-tilfældig rang udvælges ved brug af følgende formel:

$$r = \left\lfloor t^{1/p} \cdot n \right\rfloor$$

Hvor r er den semi-tilfældige valgte rang, t er et tilfældigt genereret decimaltal fra 0 til 1 (eksklusiv 1), p er et brugerdefineret selection pressure, og n er den maksimale rang, der kan udvælges. Som følge af denne formel, vil den valgte rang gennemsnitligt

blive højere som en funktion af det valgte selection pressure. Dette betyder, at det er mere sandsynligt, at en fordelagtig celle bliver valgt, jo højere p er, hvilket er et centralt element i den udviklede mutationsmetode. Forholdet mellem selection pressure og r -værdi baseret på ovenstående formel er visualiseret på figur 10.8.



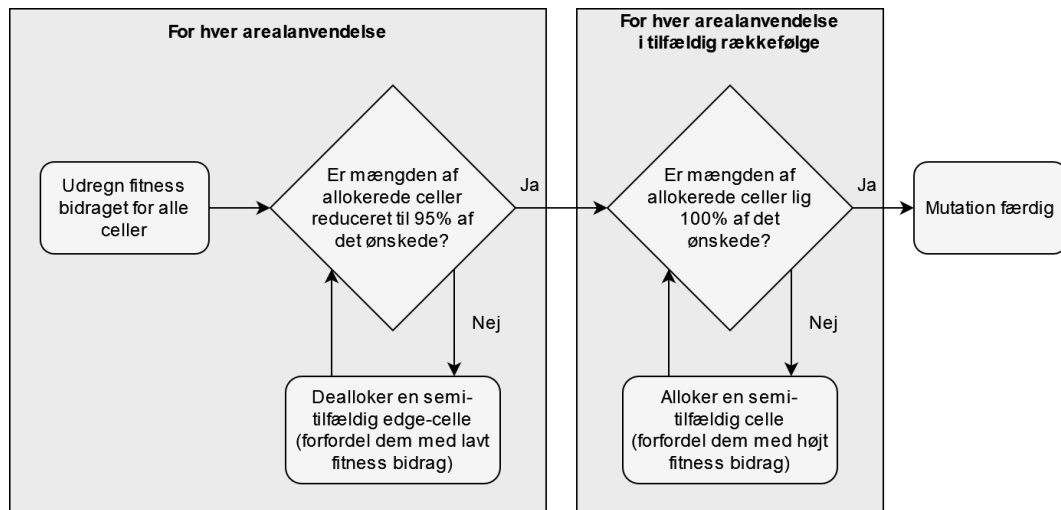
Figur 10.8. Forholdet mellem r -værdi og selection pressure når $n = 100$.

Selection pressure øges løbende imellem generationer og er en primær mekanisme, der sikrer fremskridt i populationens fitness. Da selve forøgelsen af selection pressure sker mellem generationer og relaterer sig mere til den overordnede algoritmens generationsmæssige livscyklus, bliver dette beskrevet nærmere i afsnit 10.4.7. I dette afsnit fokuseres blot på mutationsmetoden indenfor en given generation, hvor selection pressure altid er statisk.

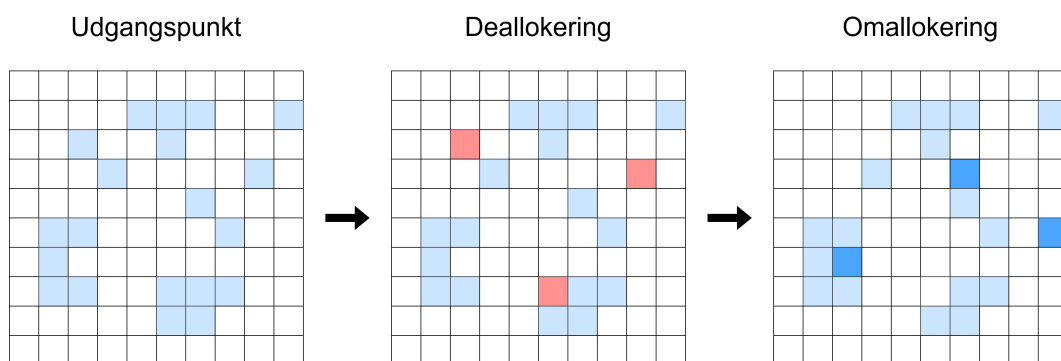
Flowdiagrammet på figur 10.9 på næste side viser fremgangsmåden for den udviklede mutationsmetode, og en tilhørende grafisk illustration af processen fremgår af figur 10.10 på den følgende side. Der startes med at udregne fitness-bidraget for både de allokerede og ikke-allokerede celler med det formål at vide, hvilke celler der giver både høje og lave bidrag. Herefter deallokeres⁴ semi-tilfældige celler, hvor det forfordes at fjerne celler med lavt fitness-bidrag. Forfordeling sker ved brug af rangbaseret udvælgelse. I denne forbindelse er det dog valgt at core-celler⁵ ikke kan deallokeres, da dette sandsynligvis aldrig kan være en forbedring. Deallokeringen fortsætter indtil der er allokeret 95% eller mindre af den brugerdefinerede mængde af arealinteressen. Dette giver anledning til at mindst 5% af arealanvendelsen bliver omallokeret, hvilket skaber diversitet og fremskridt. Disse 5% bliver ligeledes udvalgt ved hjælp af rangbaseret udvælgelse, dog hvor cellerne med højt fitness-bidrag forfordes. Når den brugerdefinerede mængde af arealanvendelsen er allokeret, er mutationen færdig.

⁴Refererer til at fjerne allokeringen af en celle - altså det modsatte af at allokeres

⁵celler med 8 naboer, der har samme arealanvendelse



Figur 10.9. Proceduren for det første mutationsstadium.



Figur 10.10. Et eksempel på mutation1, hvor celler først deallokeres og derefter allokeres på ny. Dette eksempel viser blot processen for én arealanvendelse.

Stadie 2

Det andet mutationsstadium fungerer i dets grundessens på samme måde som det første - med den forskel, at der ikke længere benyttes rangbaseret udvælgelse. I stedet udvælges blot de højeste og laveste rangerede celler til at henholdsvis blive allokeret og deallokeret ift. figur 10.9. Formålet er således at raffinere løsningsforslagene.

Dette stadium aktiveres når population har konvergeret mod en approksimeret optimal løsning. Den nærmere mekanisme for aktivering relaterer sig ligeledes mere til den overordnede algoritmens generationsmæssige livscyklus, hvilket bliver beskrevet nærmere i afsnit 10.4.7.

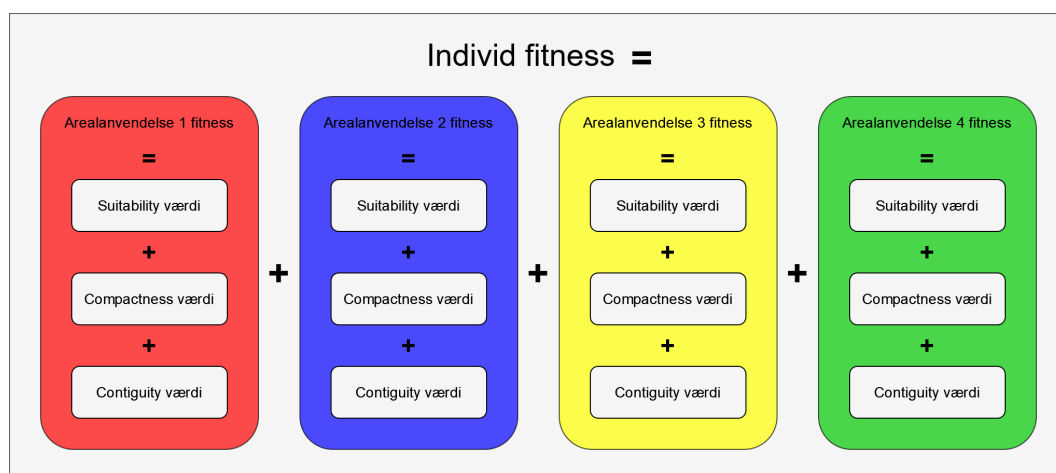
10.4.5 Udregning af fitness

For at kunne vurdere de forskellige individer mod hinanden, er der behov for en algoritme, der kan fastsætte deres fitness - en numerisk værdi for hvor godt de opfylder de opstillede målsætninger. Algoritmen for udregning af fitness er i dette projekt vurderet på baggrund af tre parametre:

- **Suitability**, der er et mål for hvor egnede de allokerede celler er i forhold til den givne arealanvendelse, hvilket vurderes i forhold til suitability maps.
- **Compactness**, der er et mål for hvor tæt pakkede de allokerede celler er (kompakthed).
- **Contiguity**, der er et mål for hvor forbundne de allokerede celler er.

De to sidste parametre er et udtryk for, hvad der i litteraturen kaldes spatiale målsætninger, da de omhandler den geografiske placering af cellerne, mens suitability er et udtryk for additive målsætninger. Yderligere additive målsætninger kunne eksempelvis repræsentere faktorer som økonomiske og naturmæssige påvirkninger, men i dette projekt er det dog valgt at simplificere de additive mål ved kun at inddrage suitability, som er en sammensætning af flere målsætninger, jf afsnit 9.2. [Li og Parrott, 2016]

De tre parametre relaterer sig individuelt til hver af arealanvendelserne, og fitness udregnes derfor først og fremmest for arealanvendelserne enkeltvis, for senere at blive summeret til fitness på individ niveau. Der fremkommer således værdier på tre niveauer; parameterværdier, arealanvendelse fitness og individ fitness. Forholdet mellem disse er afbildet på figur 10.11.



Figur 10.11. Forholdet mellem individ fitness, arealinteresse fitness og parameterværdier.

Generelt for fitness-funktioner gælder det, at de enten kan konstrueres således, at de forsøger at minimere eller maksimere de valgte parametre. Valget heraf afhænger blot af, hvordan den overordnede algoritme er sammensat og har ikke i sig selv nogen betydning for det endelige resultat. I dette projekt er funktionen en maksimeringsfunktion, hvilket medfører at større værdier vurderes positivt i de følgende udregninger.

Der er behov for at normalisere parameterværdierne, da de tre ikke naturligt er på samme skala - eksempelvis kan antallet af klynger i et scenarie (contiguity) ikke direkte sammenlignes med summen af egnethed for de allokerede celler (suitability). Normaliseringen opnås ved at relatere udregnede parameterværdier med de hidtil bedste opnåede parameterværdier blandt alle individer for en given arealanvendelse.

På denne måde bliver alle parameterværdier som udgangspunkt inddelt på en 0-1 skala. Dette fremgår af formlerne i de kommende tre underafsnit.

Vigtigheden af de tre parametre kan variere mellem forskellige arealanvendelser - eksempelvis er det vigtigere, at grønne korridorer er placeret i sammenhæng med hinanden end at solceller er det. Derfor skal brugeren på forhånd have angivet værdier der bliver benyttet til at vægte parametrene mod hinanden. For at parametervægtningerne ikke tilføjer en implicit vægtning mellem forskellige arealanvendelser, foretages endnu en normalisering, således at vægtene for alle arealanvendelse er:

$$1 = \sum_{w=1}^W w$$

Hvor W er antallet af parametre, og w er vægtene på parametrene. De følgende underafsnit beskriver hvorledes de tre parameterværdier udregnes.

Suitability

Suitability er et mål for, hvor egnede de allokerede celler er i forhold til den givne arealinteresse, hvilket vurderes i forhold til de raster suitability maps, der blev produceret i kapitel 9 [Li og Parrott, 2016]. Da disse suitability maps er på hver deres arbitrære skala, bliver de i forbindelse med den indledende indlæsningen i MOLA-algoritmen normaliseret til en 0-1 skala således, at der ikke forekommer en utilsigtet implicit vægtning mellem arealanvendelserne.

Suitability-værdien udreges ved at summere suitability af de allokerede celler, mens de øvrige celler ignoreres. Dette kan på individniveau formuleres som:

$$\sum_{k=1}^K \frac{\sum_{i=1}^R \sum_{j=1}^C suit_{ijk} x_{ijk}}{b_k} w_k$$

Hvor K er antallet af arealanvendelser, k er arealanvendelserne, R og C er henholdsvis antallet af rækker og kolonner i datasættet, $suit_{ijk}$ er suitability for celle (i, j) for arealanvendelse k , x_{ijk} er en numerisk boolsk værdi⁶ der indikerer om celle (i, j) er allokeret til arealanvendelse k , w_k er vægten for suitability for arealanvendelse k , og b_k er den højeste suitability-værdi blandt alle individer for arealanvendelse k . Figur 10.12 viser et eksempel hvor en mængde celler er allokeret til en arealanvendelse, og suitability parameterværdien er udregnet.

⁶værdi 1 hvis allokeret, ellers 0

5	4	4	2	2	2
2	3	2	1	3	4
2	2	1	1	2	2
2	2	1	3	2	2
0	1	3	4	6	0
0	0	2	5	0	0

Sum: 45

Figur 10.12. Eksempel på udregning af suitability-værdi på arealanvendelsesniveau, hvor de allokerede celler er udfyldt med gråt. Tallene i cellerne indikerer deres suitability for den givne arealanvendelse. Udregningen her inddrager ikke w_k og b_k .

Compactness

Compactness er et mål for, hvor tæt pakkede de allokerede celler er [Li og Parrott, 2016]. Værdien udregnes ved at summere antallet af allokerede naboer, hvilket på individniveau kan formuleres som:

$$\sum_{k=1}^K \frac{\sum_{i=1}^R \sum_{j=1}^C \left(\sum_{m=i-1}^{i+1} \sum_{n=j-1}^{j+1} x_{mnk} \right)}{b_k} w_k$$

hvor $(m, n) \neq (i, j)$

Hvor w_k er vægten for compactness for arealanvendelse k og b_k er den højeste compactness-værdi blandt alle individer for arealanvendelse k . Figur 10.13 viser et eksempel hvor en mængde celler er allokeret til en arealanvendelse, og compactness parameterværdien er udregnet.

2	3	2			
	3				0
	1		4	3	
		4	5	4	
			3		

Sum: 34

Figur 10.13. Eksempel på udregning af compactness-værdi på arealanvendelsesniveau, hvor de allokerede celler er udfyldt med gråt. Tallene i cellerne indikerer antallet af allokerede naboer for den givne arealanvendelse. En celledes naboer udgør i denne forbindelse de 8 omkringliggende celler. Udregningen her inddrager ikke w_k og b_k .

Contiguity

Contiguity er et mål for hvor forbundne de allokerede celler er, hvilket bliver målt på antallet af klynger [Li og Parrott, 2016]. På individniveau kan contiguity udregnes som:

$$\sum_{k=1}^K \frac{b_k}{klyn_k} w_k$$

Hvor b_k er den laveste contiguity-værdi blandt alle individer for arealanvendelse k , w_k er vægten for contiguity for arealanvendelse k og $klyn_k$ er antallet af klynger for arealanvendelse k . Som det kan udledes af formlen, vil contiguity-værdien stige jo færre klynger der er, hvilket er positivt.

Der findes adskillige algoritmer til at bestemme antallet af klynger, $klyn_k$, der alle opnår samme resultat. I dette projekt er der benyttet en connected component labeling algoritme, hvilket blandt andet også benyttes til at segmentere binære billeder i andre sammenhænge som computer vision og billedbehandling [Bolelli et al., 2022]. Figur 10.14 viser et eksempel hvor en mængde celler er allokeret til en arealanvendelse, og contiguity parameterværdien er udregnet.

1	1	1			
	1				2
	3		3	3	
		3	3	3	
			3		

Antal klynger: 3

Figur 10.14. Eksempel på udregning af contiguity-værdi på arealanvendelsesniveau, hvor de allokerede celler er udfyldt med gråt. Tallene i cellerne indikerer hvilken klynge den allokerede celle tilhører. Udregningen her inddrager ikke w_k og b_k .

10.4.6 Udvalgelse til overlevelse

I forbindelse med udvælgelse til parring og crossover blev der skabt λ nye individer, der indgår i den eksisterende populationen på λ individer. Populationen består derfor af 2λ individer på dette tidspunkt, hvilket i processen med udvælgelse til overlevelse skal halveres til den oprindelige populationsstørrelse. Der foretages hermed en udvælgelse af hvilke individer, der fortsat skal være en del af populationen og hvilke, der skal udgå.

Ligesom med udvælgelse til parring er der i udvælgelse til overlevelse modstridende interesser i form af at få algoritmen til at konvergere hurtigere og bevare diversitet.

Som nævnt i afsnit 8.3.2 er der i dette projekt valgt at benytte NSGA-II tilgangen til pareto-baseret udvælgelse, hvilket bevirker en høj grad af diversitet.

Pareto-baseret udvælgelse er en metode, der bruges inden for optimeringsproblemer, hvor der er flere mål, der skal opfyldes samtidig. Ofte er det ikke muligt at sikre de individuelt mest optimale løsninger for alle mål samtidigt, hvilket skaber situationer, hvor det ikke er muligt at forbedre allokeringen af en arealanvendelse uden samtidigt at forværre en anden. En løsning hvor dette er tilfældet kaldes pareto optimal. [Deb et al., 2002]

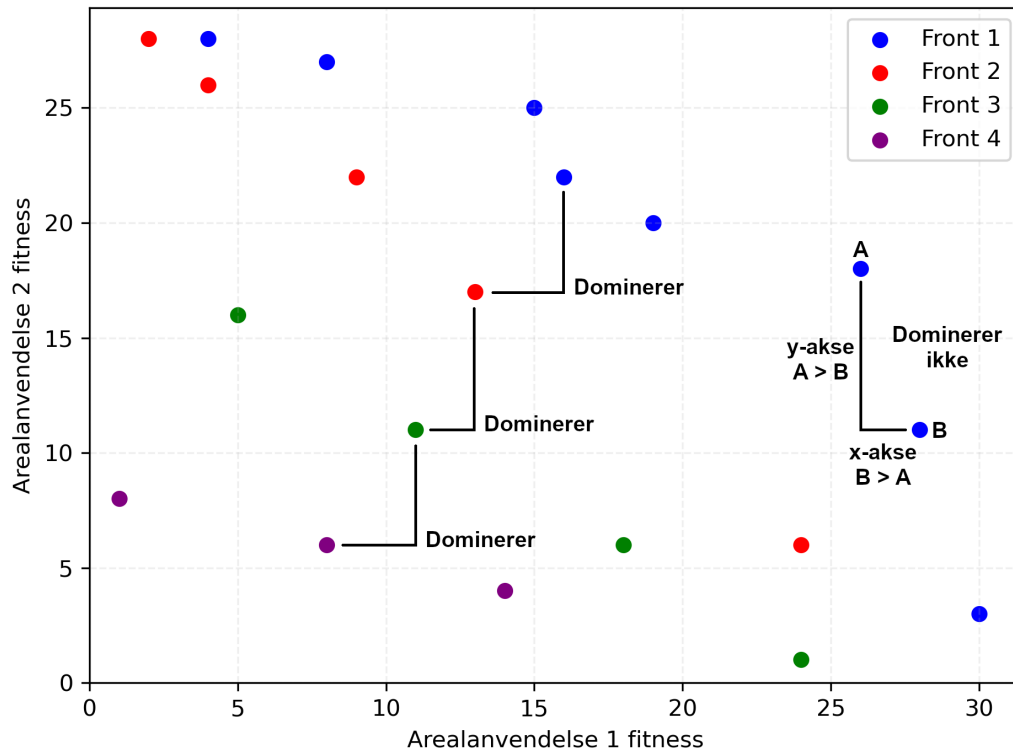
Pareto-baseret udvælgelse bygger på et princip af elitær udskiftning,⁷ hvilket betyder at individer indgår i populationen så længe, at de er vurderet egnede til det. Dette medfører, at populationen består af individer fra flere forskellige generationer. Et almindeligt alternativ til dette er at lave en komplet udskiftning af populationen i hver generation, hvilket potentielt kan øge diversiteten, da mindre egnede individer vil indgå i populationen. Denne metode kræver til gengæld en mere aggressiv tilgang til udvælgelse til parring, da der er højere sandsynlighed for at mere uegnede individer indgår i populationen. Da pareto-baseret udvælgelse allerede har en explicit metode til at sikre øget diversitet, er en komplet udskiftning af populationen ikke hensigtsmæssigt. [Deb et al., 2002; Taillard, 2023, s. 210-212]

I pareto-baseret udvælgelse inddeles individerne i adskillige pareto fronter, baseret på hvem der dominerer hvem. For at et individ, A, dominerer et andet individ, B, kræver det, at A har højere fitness end B indenfor mindst én arealanvendelse og at A samtidig har mindst lige så høj fitness som B på de øvrige. Dette medfører at individer der har særlig høj fitness indenfor en given arealanvendelse, er svær at dominere, selvom individet er forholdsvis svagt stillet på de øvrige. På denne måde kan en arealinteresse ikke blive implicit tilsidesat i tilfælde hvor fitness-bidrag fra andre arealanvendelser er overskyggende. [Deb et al., 2002]

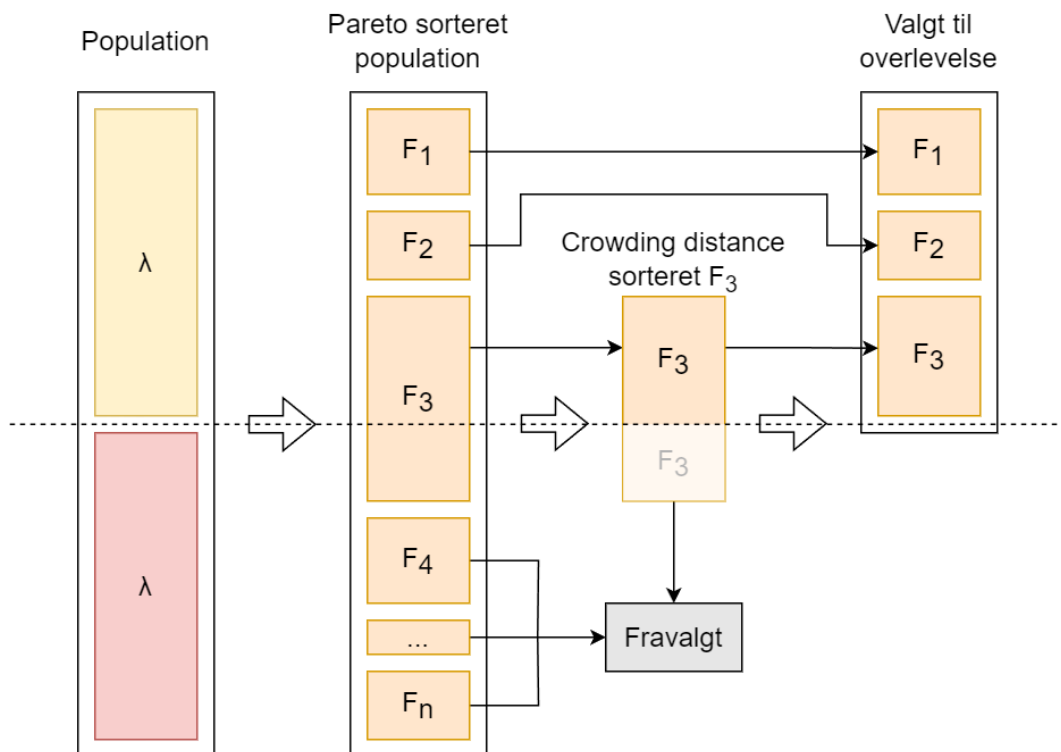
Figur 10.15 på næste side viser et simplificeret eksempel med to arealanvendelser hvor 20 individer er inddelt i fire pareto fronter. Det ses på figuren, at front 1 udgøres af de individer, der ikke bliver domineret af andre individer. Front 2 er herefter de individer, der ikke domineres af andre individer end dem i front 1. Front 3 er herefter de individer, der ikke domineres af andre individer end dem i front 1 og 2, etc.

I alt skal der udvælges λ individer til overlevelse. Figur 10.16 på den følgende side illustrerer den overordnede fremgangsmåde for NSGA-II tilgangen til pareto-baseret udvælgelse. Her ses det, at den samlede population bliver sorteret i pareto fronter, hvorefter de mindst dominerede fronter, F1 og F2, udvælgelses til overlevelse. Hermed bevares de gener, der har fundet de bedste løsninger for de forskellige arealanvendelser, hvilket øger diversiteten. Den tredje front i eksemplet, F3, er dog for stor til at alle individerne kan overleve, hvorfor disse sorteres med crowding distance metoden. Denne sorteringsmetode prioriterer de individer, hvis løsningsforslag har størst diversitet i forhold til de øvrige [Deb et al., 2002].

⁷Elitist replacement



Figur 10.15. Eksempel hvor 20 individer er inddelt i fire pareto fronter.

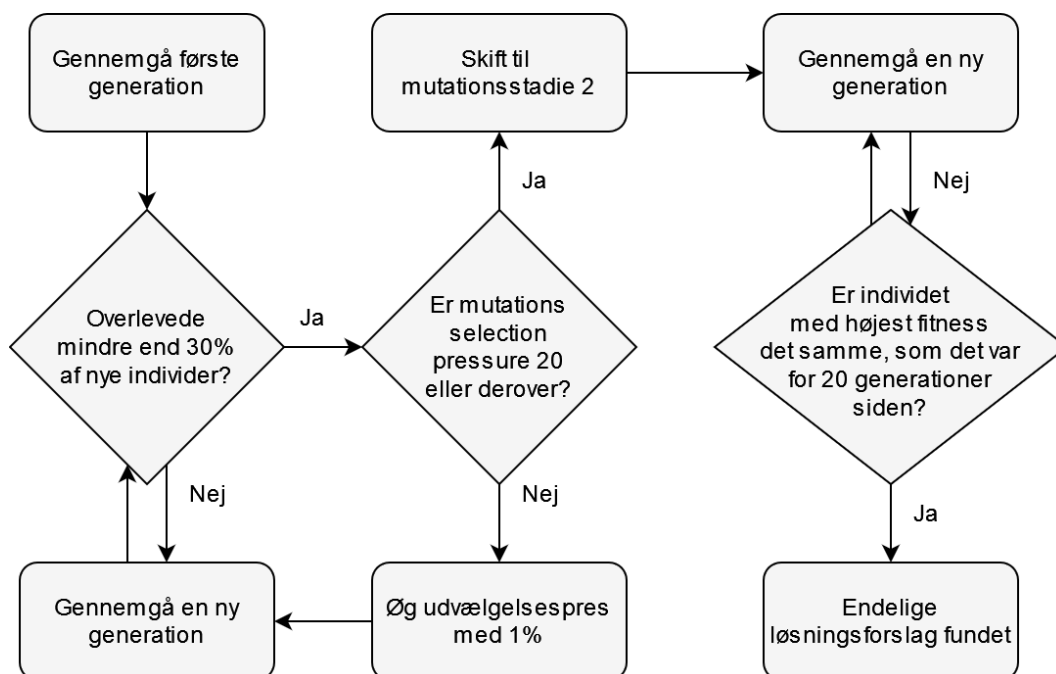


Figur 10.16. NSGA-II procedure for pareto-baseret udvælgelse. Figuren er udarbejdet med inspiration fra Deb et al. [2002].

10.4.7 Algoritmens livscyklus og stopkriterie

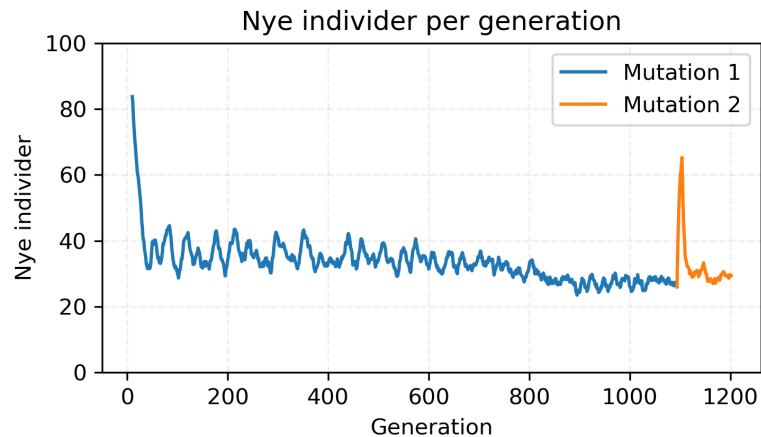
I takt med at fitness i populationen øges, bliver det i sagens natur mindre sandsynligt, at forbedringen kan findes ved tilfældigheder. For at sikre et vist fremskridt i populationens fitness, øges mutationens selection pressure derfor løbende, som nævnt i afsnit 10.4.4.

Den udviklede algoritmes overordnede livscyklus kan ses på figur 10.17. Her fremgår det, at mutations selection pressure øges med 1% løbende, baseret på hvor mange af de nyskabte individer i en generation, der overlever. Når selection pressure når en grænseværdi på 20 vurderes det, at algoritmen har konvergeret mod en approksimeret optimal løsning, da allokeringen af arealanvendelserne kun ændrer sig i begrænset omfang herefter. Derfor skiftes til det andet mutationsstadium, hvor formålet er at raffinere løsningsforslagene. Når der herefter er gennemført 20 generationer uden øgning af fitness i populationens bedste individ, afsluttes algoritmen.



Figur 10.17. Den overordnede livscyklus for den udviklede genetiske algoritme.

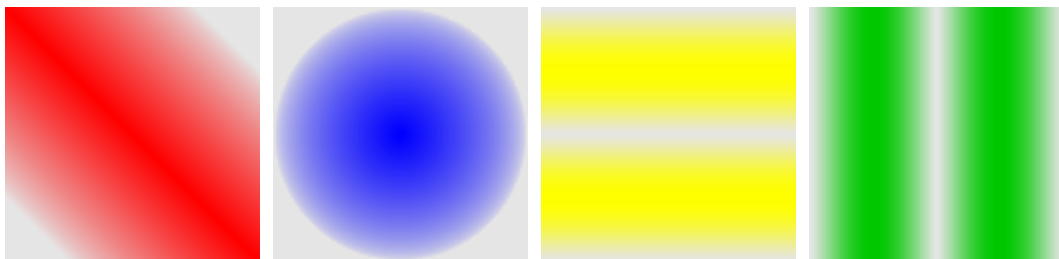
I kraft af at mutations selection pressure øges når der er færre end 30 nye individer der overlever en generation sikres det, at der er et vist fremskridt i populationens overordnede fitness. Figur 10.18 på den følgende side er et eksempel på antallet af overlevende nye individer over tid, hvor det ses at mængden er nogenlunde konstant på omkring 30 i størstedelen af algoritmens livscyklus.



Figur 10.18. Antallet af overlevende nye individer over algoritmens livscyklus.

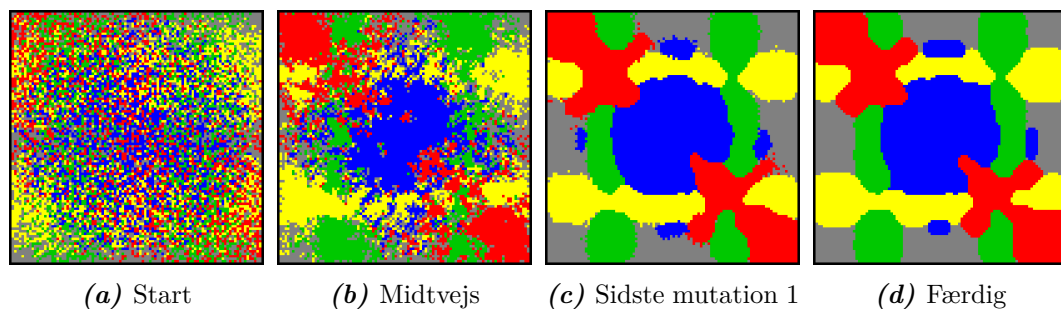
10.5 Simplificeret testcase

I dette afsnit bliver algoritmen demonstreret. For at give en klar og forståelig demonstration af algoritmen, vil der blive anvendt simple testdata, som er specifikt udarbejdet til dette formål. Figur 10.19 viser fire suitability maps, der hver indikerer hvor fire arealanvendelser henholdsvis er bedst at placere.



Figur 10.19. De fire suitability maps, der er brugt til at teste med. Jo kraftigere farve, desto mere egnet er cellen.

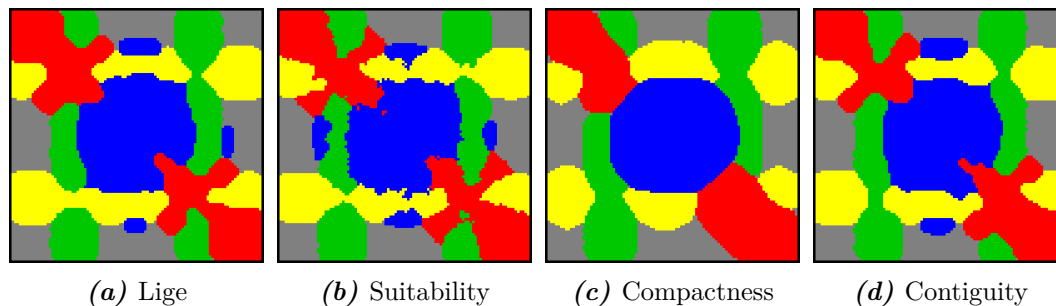
På figur 10.20 ses fire forskellige individer på forskellige stadier af algoritmens livscyklus. De fire individer har alle den højeste fitness i deres respektive generationer. En animeret gif-fil der illustrerer et eksempel på en livscyklus, kan findes i det eksterne bilag⁸.



Figur 10.20. Eksempel på en livscyklus.

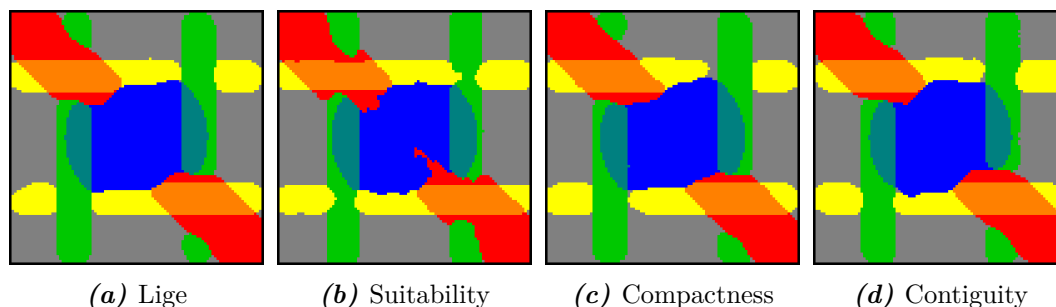
⁸Eller med dette link: <https://www.dropbox.com/s/ywv0f8ar1cx5kgb/Testcase.gif?dl=0>

Som forklaret i afsnit 10.4.5 er der tre forskellige parameterværdier som fitness for en arealanvendelse baseres på; suitability, compactness og contiguity. Disse har betydelig indvirkning på resultatet af allokering af arealanvendelserne, hvilket fremgår af figur 10.21. Hvor figur 10.21a viser en lige vægtning af parameterværdierne, viser de øvrige tre scenarier hvor en af parameterværdierne er vægtet fem gange højere end de øvrige.



Figur 10.21. Fire eksempler, hvor parameterværdierne har forskellige vægte.

En del af kravspecifikationen var, at algoritmen skulle kunne håndtere multifunktionalitet. Figur 10.22 viser scenarier, hvor gul og rød arealanvendelse samt blå og grøn arealanvendelse kan være multifunktionelle. Ligesom figur 10.21, viser figur 10.22 også forskellige vægtninger af parameterværdier.



Figur 10.22. Fire eksempler med multifunktionalitet, hvor parameterværdierne har forskellige vægte.

I det følgende kapitel vil den udviklede MOLA-algoritmen blive benyttet på den konkrete case for Morsø Kommune, der blev påbegyndt i kapitel 9.

Evaluering af MOLA-algoritmen

11

I dette kapitel vil MOLA-algoritmen blive afprøvet på en case, hvilket udgør implementeringen af en fysisk model. Her undersøges dens evne til at arbejde med virkelig data, samt de begrænsninger algoritmen kan have. Inputtet til MOLA-algoritmen er de udarbejdede suitability maps fra kapitel 9, hvor det geografiske område udgør Morsø Kommune.

Indledningsvist vil resultaterne fra casen blive gennemgået og vurderet, hvilket følges op af en diskussion og evaluering af algoritmen. Alle de præsenterede kort kan også findes i det eksterne bilag. Herefter ses der nærmere på MOLA-algoritmen i en virkelighedsnær sammenhæng, hvor der præsenteres en mockup af en brugergrænseflade, der tilsigter at gøre anvendelsen af algoritmen brugervenlig. Afslutningsvis indgår en refleksion af brugen af algoritmen i virkeligheden, hvor begrænsninger såsom økonomisk politik og ejendomsret bevirker, at et løsningsforslag fra en MOLA-algoritme ikke giver en entydig løsning for, hvordan arealinteresser skal placeres.

11.1 Resultater fra case

Den udarbejdede MOLA-algoritme er testet på case-området, hvor den er eksekveret af tre primære omgange, der i det følgende omtales som scenarie 1, 2 og 3. Algoritmen er eksekveret flere gange for at teste dens evne til at arbejde med forskellige vægtninger af de tre parametre; contiguity, compactness og suitability. Contiguity vedrører evnen til forbinde og skabe sammenhængende områder, mens compactness handler om hvor kompakte de allokerede områder er. Den sidstnævnte parameter, suitability, refererer til, hvor egnet celler er for en arealinteresse, hvilket tager udgangspunkt i de udarbejdede suitability maps fra afsnit 9.2. Parametrene er beskrevet og uddybet i afsnit 10.4.5. De tre parametre kan vægtes forskellige for hver arealinteresse, afhængigt af hvad der skal prioriteres.

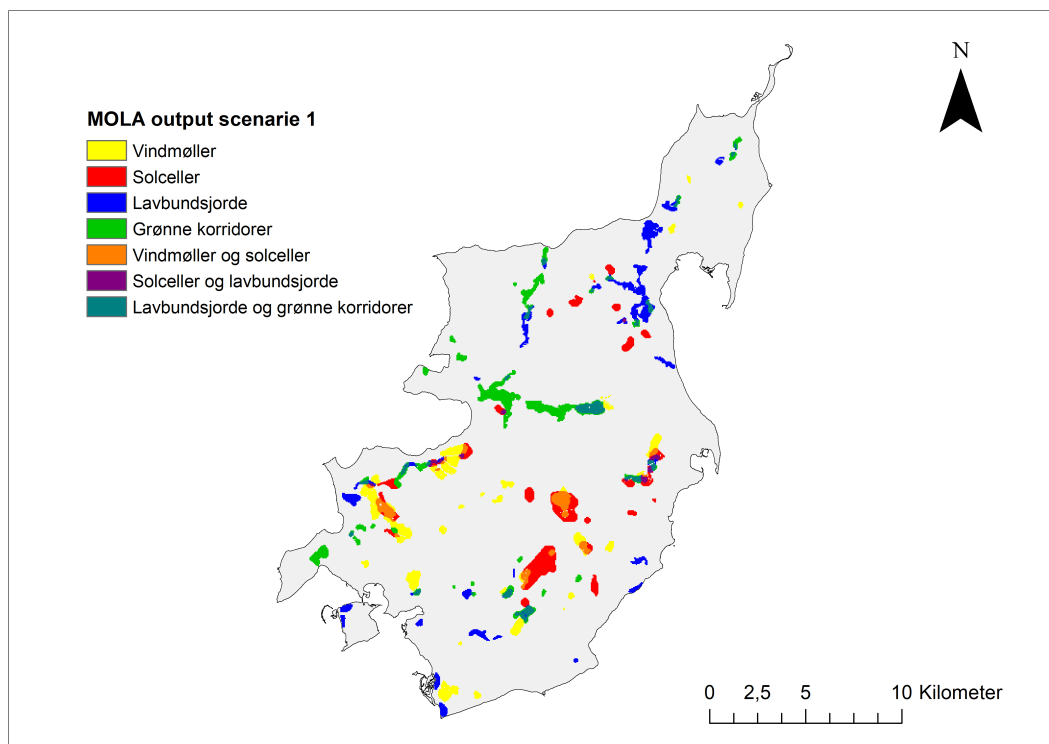
Første gang algoritmen blev eksekveret (scenarie 1), blev vægtningen sat ud fra en vurdering af, hvad der ville være en realistisk vægtning. Den indbyrdes parametervægtning for de fire arealinteresser fremgår af tabel 11.1. Her blev det eksempelvis vurderet, at suitability skulle vægtes højest for vindmøller, da det er svært at placere vindmøller i det åbne land grundet spredte beboelsesejendomme. Det udarbejdede suitability map for vindmøller er blandt andet baseret på antallet af beboelsesejendomme inden for en radius af fire gange vindmøllehøjde. Celler, hvor der ikke er beboelsesejendomme inden for denne radius er vægtet

højest, mens celler, hvor der er beboelsesejendomme inden for radiussen gradvis er vægtet lavere eller restrictede, afhængig af antallet af beboelsesejendomme. Compactness er vægtet højere end contiguity ud fra en antagelse om, at samling af vindmøller er at foretrække. Omvendt er contiguity vægtet højest for arealinteressen grønne korridorer, da formålet med denne netop er at skabe sammenhængende naturområder, som dyreliv kan færdes gennem.

	Vindmøller	Solceller	Lavbundsjorder	Grønne korridorer
Contiguity	1	1	1	4
Compactness	2	3	2	2
Suitability	4	3	1	1

Tabel 11.1. Indstillet vægtning for scenarie 1.

Vægtningen fra tabel 11.1 er afsættet for scenarie 1, og resultatet heraf fremgår af figur 11.1, hvor allokeringen illustreres for hver af de fire arealinteresser. Hver arealinteresse er angivet til at skulle udgøre et areal på 1000 hektar, hvilket svarer til 4000 celler, da hver celle har en størrelse på 50 x 50 meter. Selvom hver arealinteresse skal udgøre 1000 hektar, så udgør det samlede allokerede areal ikke 4000 hektar, eftersom algoritmen arbejder multifunktionelt. Dette fremgår af figur 11.1, hvor nogle af arealinteresserne kombineres. Eksempelvis er der flere orange områder, hvor solceller og vindmøller kan kombineres på det samme areal.



Figur 11.1. Scenarie 1.

For at kunne evaluere og vurdere vægtningenes indflydelse på outputtet, er de justeret og bearbejdet af algoritmen to gange yderligere, hvor der fortsat allokeres 1000 hektar per arealinteresse. Disse to output betegnes scenarie 2 og scenarie 3.

For scenarie 2 er de tre parametre vægtet ens for alle arealanvendelserne, mens vægtningene for scenarie 3 er justeret markant for de parametre, der ønskes fokus på. Eksempelvis er contiguity vægtet 10 gange højere end compactness og suitability for arealinteressen grønne korridorer. De indstillede vægte for scenarie 1, 2 og 3 fremgår af tabel 11.2.

Scenarie 1				
	Vindmøller	Solceller	Lavbundsjorder	Grønne korridorer
Contiguity	1	1	1	4
Compactness	2	3	2	2
Suitability	4	3	1	1
Scenarie 2				
Contiguity	1	1	1	1
Compactness	1	1	1	1
Suitability	1	1	1	1
Scenarie 3				
Contiguity	1	1	1	10
Compactness	10	10	1	1
Suitability	1	1	1	1

Tabel 11.2. Indstillet vægtning for scenarie 1, 2 og 3.

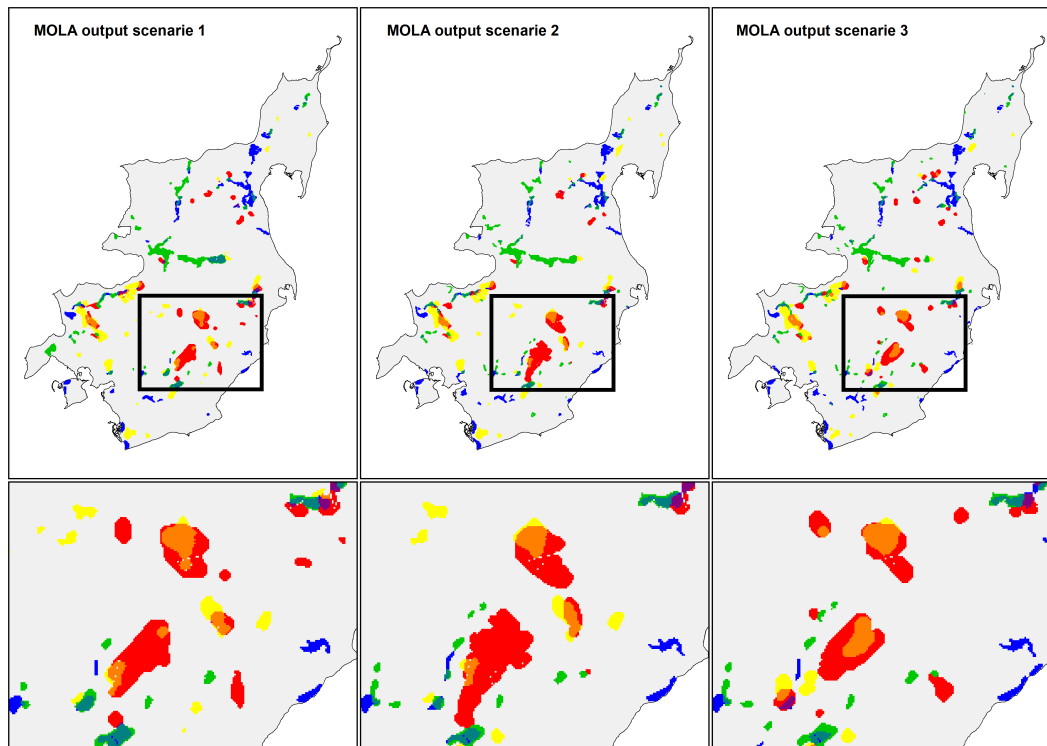
Scenarie 1, 2 og 3 fremgår af figur 11.2 og 11.3, hvor der er fokuseret på to forskellige områder. På figur 11.2 er der fokuseret på et område på den sydlige halvdel af Mors, hvor MOLA-algoritmen har allokeret store områder til solcelleanlæg (rød markering). De tre scenarier er relativt ens. Det ses dog, at formerne på solcelleområderne er mere afrundede for scenarie 1 og 3. Dette skyldes, at compactness er vægtet højere i disse end for scenarie 2, hvor parametervægtningen er ens. Hvorvidt den afrundede form er hensigtsmæssig ved opførelse af solcelleanlæg kan diskuteres, eftersom scenarie 2 i stedet skaber et længere men samtidigt større areal, hvilket kan være fordelagtigt i planlægningen for store områder til solcelleanlæg.

Inden for det fokuserede område kan det være svært at vurdere om områderne for solcelleanlæg i scenarie 3 er mere påvirkede af compactness-vægtningen end scenarie 1, selvom compactness er vægtet ekstra højt for scenarie 3.

Det ses, at compactness ikke påvirker scenarie 3 mere end scenarie 1, hvilket indikerer at algoritmen har en udfordring med unødvendig fragmentering. Den primære årsag til fragmenteringen vurderes at være af teknisk karakter, og vil derfor blive uddybet i afsnit 11.2. En medvirkende årsag kan derudover være de restrictede arealer for solceller, da arealinteressen ikke kan allokeres i disse områder. Altså kan kompaktheden for et areal ikke blive bedre end udgangspunktet fra det udarbejdede suitability map - uanset hvor højt denne parameter vægtes.

For det fokuserede område på figur 11.2 ses det endvidere, at de gule vindmølleområder er mest fragmenterede ved scenarie 1, efterfulgt af scenarie 2, og mindst fragmenterede ved scenarie 3. Dette skyldes vægtningen af suitability, som gradvist får mindre indflydelse for de tre outputs. For scenarie 1 er suitability vægtet højest hvilket gør, at områderne for vindmøller i højere grad placeres efter suitability og i

mindre grad efter compactness eller contiguity. Det betyder, at når de mest egnede områder ud fra suitability map er spredte, så bliver områderne det også i scenarie 1. For scenarie 2 er suitability vægtet ligeligt med compactness og contiguity, hvilket giver et mindre fragmenteret resultat. For scenarie 3 er compactness vægtet over suitability, hvilket gør, at scenarie 3 har de mindst fragmenterede vindmølleområder.



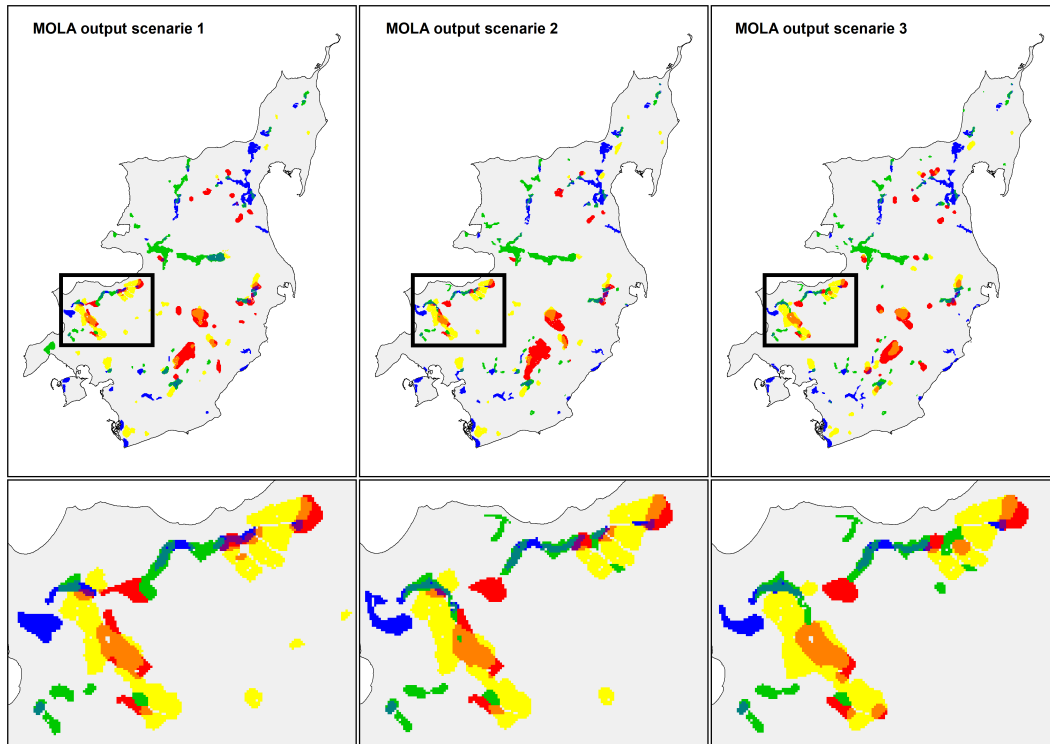
Figur 11.2. Sammenligning af scenarie 1, 2 og 3.

Figur 11.3 fokuserer på et område på det sydvestlige Mors, hvor alle arealinteresserne er allokeret nær hinanden, og det ses at flere områder anvendes multifunktionelt. Desuden bemærkes det, at arealinteressen grønne korridorer agerer forskelligt i scenarierne i forhold til vægtningen af contiguity. Generelt er de relativt ens, hvilket skyldes det benyttede suitability map, hvor arealerne strækker sig over lange områder og er fragmenterede. For grønne korridorer (grøn markering) var det forventet, at områderne ville være mere sammenhængende i scenarie 3, og det må derfor konstanteres, at contiguity ikke virker lige så hensigtsmæssigt som forventet. Nordøst for det fokuserede område ses dog en grøn korridor, som er mest sammenhængende for scenarie 3, hvilket kan skyldes den høje vægtning af contiguity. Foruden grønne korridorer, bemærkes det også at allokeringen af lavbundsgrunde (blå markering) er mest kompakt i deres udformning for scenarie 1, grundet den højere vægtning af compactness.

Eftersom den udarbejdede MOLA-algoritme anvender en heuristisk tilgang for at minimere tidsforbruget, er outputtet ikke en entydig eller absolut optimal løsning, hvilket også er beskrevet i afsnit 8.3.1 på side 55.

Indflydelsen af den heuristiske tilgang er undersøgt nærmere, ved at eksekvere MOLA-algoritmen endnu engang med indstillingerne fra scenarie 1. Figur 11.4 viser

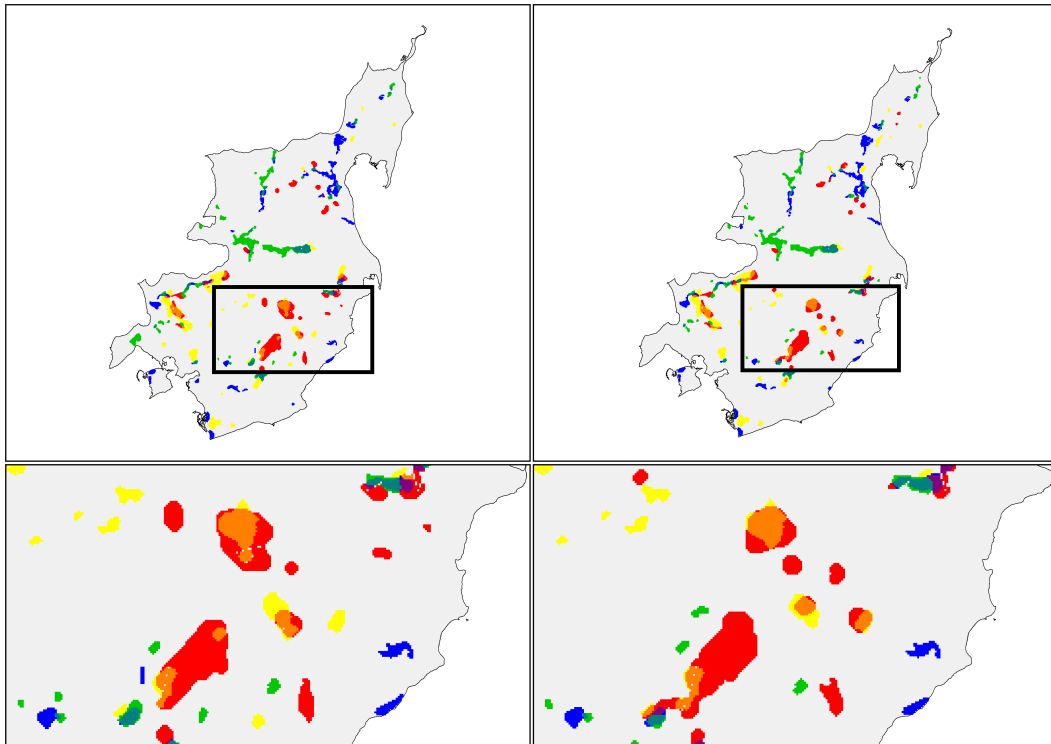
de to forskellige outputs ved siden af hinanden. Overordnet set er der ikke væsentlig forskel på dem, men for solcelleområderne ses der nogle afvigelser. På det fokuserede område ses der forskel på udformning og antallet af klynger, hvilket tydeligt viser, at den heuristiske tilgang ikke udarbejder en endelig eller absolut optimal løsning, da output kan variere.



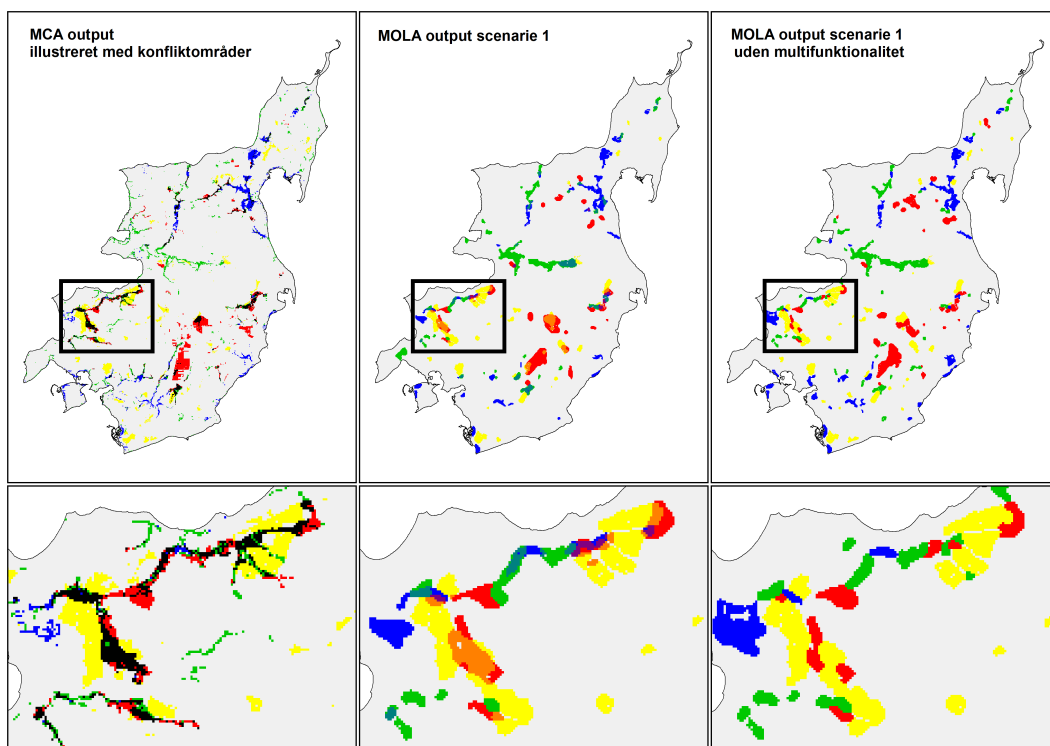
Figur 11.3. Sammenligning af scenarie 1, 2 og 3.

Fordelen ved MOLA er, at flere arealinteresser placeres samtidigt, hvilket skiller sig ud fra en single use allocation tilgang, hvor der findes optimale lokationer til én specifik interesse ad gangen (jf. 6.3). Når arealinteresser placeres enkeltvis kan der opstå konflikter mellem dem, hvis det er fordelagtigt for flere at placere sig på samme geografiske lokation. Dette fremgår af figur 11.5, hvor det første kort viser de 1000 mest velegnede hektar for hver arealinteresse, med afsæt i de udarbejdede suitability maps. De sorte markeringer viser områderne med konflikt mellem to eller flere arealinteresser.

MOLA-løsningen fremgår af det andet kort på figur 11.5, hvor der ikke længere opstår konflikter mellem de enkelte arealinteresser. Dog kan flere af arealinteresserne kombineres multifunktionelt og dermed placeres samme sted. Det tredje kort på figur 11.5 viser MOLA-løsningen uden multifunktionalitet, således at hver arealinteresse tildeles sin egen geografiske placering. Ved at multifunktionalitet ikke anvendes, skal der generelt afsættes mere plads til arealinteresserne, og dermed udtages mere landbrugsjord. På figur 11.5 ses det generelt, at MOLA-algoritmen samler arealinteresserne i større områder - resultatet heraf er således mindre fragmenteret end det første kort, der blot viser de mest egnede arealer til arealinteresserne.



Figur 11.4. To forskellige resultater med indstillingerne fra scenarie 1, der skal illustrere indflydelsen af den heuristiske tilgang.



Figur 11.5. Konfliktområder ud fra suitability maps, samt løsningsforslag fra MOLA med og uden multifunktionalitet.

11.2 Diskussion og evaluering af algoritmen

I forbindelse med udviklingen af MOLA-algoritmen er der opstået en række overvejelser. Hertil har den bearbejdede case givet anledning til yderlige overvejelser, samt fremhæve aspekter som algoritmen ikke opfylder i tilfredsstillende grad. Dette afsnit vil fremhæve nogle af de væsentligste aspekter med henblik på eventuel videreudvikling. Hertil vil det også blive vurderet, hvor omfattende implementeringerne vil være - både konceptuelt og beregningsmæssigt.

Unødig fragmentering

Hvad der ligner unødig fragmentering, særligt i forhold til contiguity, vurderes at være et resultat af, at allokeringen er i et lokalt optimum. Konkret er problematikken, at den nuværende mutations-operator genallokerer enkelte celler fra én klynge til en anden, hvilket har en begrænset påvirkning på et individs compactness og ingen på contiguity. I denne situation vil fjernelsen af en klynge og efterfølgende genallokering omkring de øvrige klynger bryde dette lokale optimum. Derfor vil der med fordel kunne implementeres en yderligere mutationsoperator i algoritmen, som håndterer områder eller hele klynger frem for enkelte celler. Da de præcise mekanismer, der skal løse problemstillingen ikke er fastlagt, kan omfanget af implementeringen ikke vurderes.

Klyngestørrelser

Afhængigt af de valgte arealinteresser kan det være ønskværdigt, at klynger i de generede løsningsforslag har bestemte størrelser. Ønskes der eksempelvis, at planlægge for store solcelleanlæg, er det u hensigtsmæssigt, at der allokeres klynger på få hektarer. I videreudviklingen af algoritmen bør det derfor implementeres, at der kan angives et interval for, hvor store klynger bør være for de enkelte arealanvendelser. Implementeringen vurderes konceptuelt simpel, men beregningsmæssig tung.

Eksisterende arealanvendelser

Algoritmen er kun bekendt med, hvilke områder der er landbrugsnoterede, mens øvrige eksisterende arealanvendelser ikke indgår. For eksempelvis grønne korridorer betyder dette, at eksisterende naturarealer vil fungere som en barriere fra algoritmens synspunkt, frem for en forlængelse af en eksisterende grøn korridor. I praksis vil det være positivt at placere grønne korridorer i forlængelse af eksisterende naturarealer uafhængigt af, om de nye korridorer er i direkte indbyrdes forlængelse af hinanden. I videreudviklingen bør muligheden for at inddrage eksisterende arealanvendelser, når der udregnes compactness og contiguity for udvalgte arealinteresser, derfor implementeres. Implementeringen vurderes relativt simpel samt beregningsmæssig billig.

Afstande mellem diverse arealinteresser

MOLA-algoritmen tager ikke hensyn til, hvilke arealinteresser der bør ligge op ad hinanden. Dermed vurderer algoritmen ikke om et naturområde eksempelvis

bør ligge op ad en vindmøllepark. Modsat kan der også være arealinteresser, der med fordel kan placeres i nærheden af hinanden. En videreudviklet algoritme kan med fordel inddrage disse aspekter. Det vurderes, at en implementering med korte geografiske afstande vil være relativt simpel og beregningsmæssig moderat. Dog vurderes det, at en mere omfattende implementering, hvor der kan angives vilkårlige distancer, vil være beregningsmæssig tung - med mindre der kan udvikles en avanceret algoritme til at lave udregningerne.

Algoritmens eksekveringstid

Kompleksiteten af de udregninger, der skal laves, afspejles i eksekveringstiden, som ligger på omtrent 3 timer for den pågældende case. Det vil være muligt at optimere dele af algoritmen for at sikre hurtigere eksekveringstid - både igennem generelle algoritmiske optimeringer og ikke mindst ved at benytte et andet programmeringssprog. Dette projekts MOLA-algoritme er udviklet i Python, hvortil der er relativt mange frit tilgængelige libraries og det er relativt hurtigt at lave prototyper i. Python er til gengæld ikke særlig effektivt i forhold til andre programmeringssprog [Prechelt, 2000].

Det er dog ikke en unik udfordring for dette projekts MOLA-algoritme, da samme tendens ses i andre studier. Tabel 11.3 viser en sammenligning af dette projekts case og andre studiers resultater. På trods af, at algoritmen i dette projekt arbejder med et relativt stort antal celler og er blandt studierne med den højeste populationsstørrelse, ses det at eksekveringstiden er den hurtigste. Derfor må det konstateres, at 3 timer er acceptabelt - sammenlignet med øvrige MOLA-algoritmer. Dette kan dog også indikere, at de benyttede indstillinger, særligt vedrørende mutationsoperatoren, medfører en for hurtig konvergering mod et lokalt optimum. Eksempelvis ville de to forskellige eksekveringer med indstillingerne fra scenarie 1 (figur 11.4) formentlig være mere identiske, hvis algoritmen konvergerede langsommere. Disse indstillinger kan dog uproblematisk ændres.

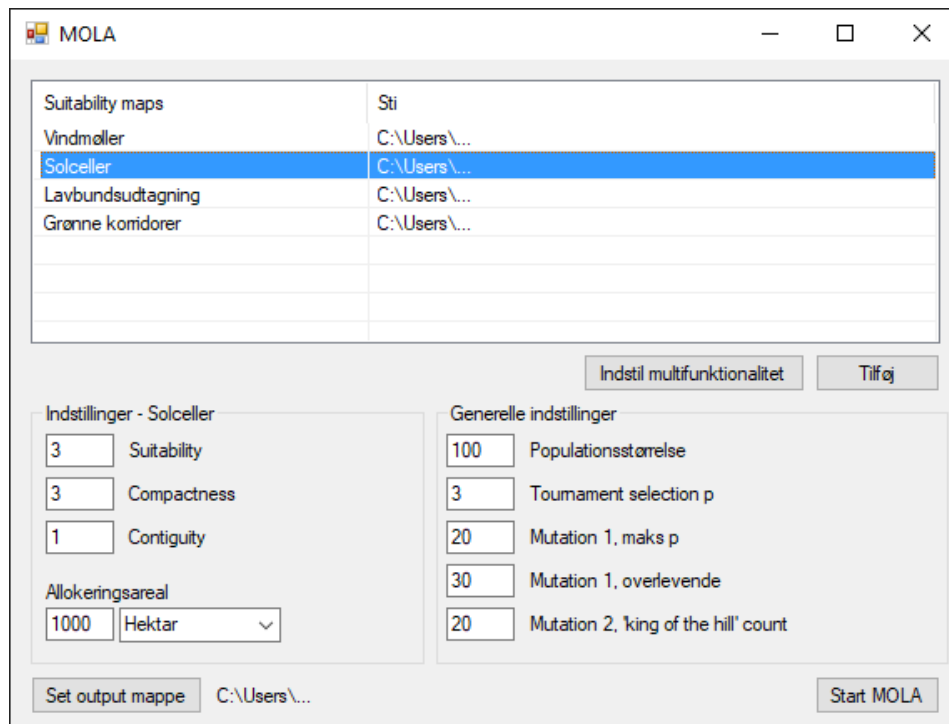
Kilde	Celler	Tid	Population	Iterationer	CPU
Dette projekt	537×702 (377k)	3 timer	100	1777	Ryzen 5 3600 3.6 GHz
Li og Parrott [2016]	364×482 (175k)	9 timer	20	2897	Intel Core 2 Duo CPU P7550 2.26 GHz
Cao et al. [2012]	141×119 (17k)	5,5 timer	100	5000	Quad-Core Intel Xenon ES 3.7 GHz
Song og Chen [2018b]	30×30 (0.9k)	9 timer	100	5000	Intel Core i7-3770 CPU 3.40 GHz
Gao et al. [2020]	280×195 (55k)	5-7 timer	50	1000	Intel Core i7-6500U 3.10 GHz

Tabel 11.3. Oversigt og sammenligning af tidsforbruget over forskellige MOLA-algoritmer.

11.3 Eksempel på brugergrænseflade

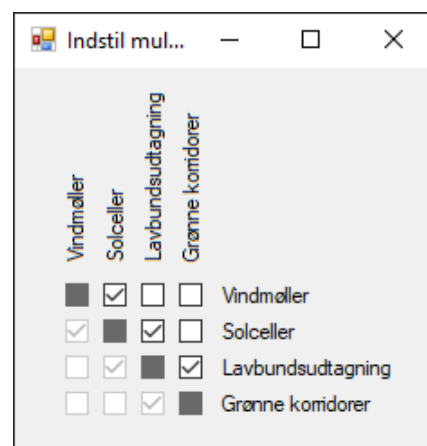
Som nævnt i afsnit 6.2.1 er en væsentlig komponent i beslutningsstøtteværktøjer et dialoggenererings- og styringssystem (DGMS), der skal sikre en optimal interaktion mellem computersystemet og brugeren. Såfremt MOLA-algoritmen skal benyttes i praksis bør interaktionen derfor foregå i en grafisk brugergrænseflade, således at slutbrugere, som eksempelvis planlæggere, kan anvende den uden at have betydelige tekniske færdigheder. Dette afsnit vil eksemplificere, hvordan sådan en brugergrænseflade kunne se ud og fungere. Til dette formål er der lavet en mockup,

hvilket ifølge Merriam Webster [2023] defineres som *"A full-sized structural model built to scale chiefly for studying, testing or display."* I dette tilfælde er mockup'en ikke et funktionelt produkt, men blot en metode til at visualisere den tiltænkte anvendelse. Figur 11.6 viser den fremstillede mockup.



Figur 11.6. En mockup af brugergrænsefladen til MOLA-algoritmen.

Mockup'en viser, at der i dette tilfælde er tilføjet fire suitability maps. Når en af disse suitability maps markeres, er det muligt at ændre på indstillingerne for arealanvendelsens parameter-vægtninger, samt at ændre på hvor meget areal, der skal allokeres. Hertil er der også muligheden for at ændre generelle indstillinger, hvoraf der på mockup'en er udvalgt en håndfuld bagvedliggende algoritmiske indstillinger som eksempler. Disse indstillinger er dog mere teknisk betonedede, og kræver en dybere forståelse af algoritmen for at kunne benyttes. I en videreudviklet version af algoritmen og brugergrænsefladen ville disse avancerede indstillinger være gemt væk, for at gøre brugergrænsefladen mere brugervenlig. Endeligt er det også muligt at indstille multifunktionalitet. Eftersom matricen herfor er af dynamisk størrelse, baseret på hvor mange suitability maps der er inkluderet, åbnes denne i et separat vindue som vist på figur 11.7.



Figur 11.7. Indstillinger for multifunktionalitet.

11.4 Værktøjets indflydelse i en virkelig kontekst

I det følgende vil der ses nærmere på, hvor stor indflydelse denne type af værktøjer har i en virkelig kontekst, hvor forskellige faktorer spiller ind i planlægningen for, hvor arealinteresser skal allokeres.

Brugen af værktøjet kan anvendes i forskellige henseender - eksempelvis til andre arealanvendelser eller på forskellige niveauer, hvor værktøjet både kan anvendes i et statsligt eller kommunalt planlægningsregi.

Ifølge den seneste klimaaftale af Regeringen, m.fl. [2022a] skal staten have mere indflydelse på planlægningen af udbygningen af vedvarende energianlæg. Her er det besluttet, at staten skal udpege 10-15 områder til større energianlæg, og dermed sikre en hurtigere udbygning. Dog gøres det samtidig klart i klimaaftalen, at selve udbygningen af energiparkerne skal være markedsdrevet og at det er private udviklere, der skal varetage projekterne. Staten skal bidrage med at mindske begrænsninger for anlæggene, samt bidrage med planlægningen - eksempelvis ved udpegning af arealerne. [Regeringen, m.fl., 2022a, s. 5]

Pointen om at udbygningen skal være markedsdrevet er væsentlig at understrege, da det tydeliggør, at Danmarks samfundsøkonomiske system ikke udgør en ren planøkonomi, hvor samfundet entydigt afspejles af politiske planer. Danmark har derimod en blandingsøkonomisk tilgang, hvor markeds- og planøkonomisk politik kombineres [Keiding, 2022]. Danmarks økonomiske politik medfører, at et objektivt beslutningsstøtteværktøj til allokering af arealinteresser ikke kan stå alene, og dermed ikke kan angive en entydig udpegning for, hvor eksempelvis fremtidige energianlæg skal være. Dette er også noteret i klimaaftalen, hvor det beskrives, at den statslige screening for områder til vedvarende energianlæg ikke udelukkende baseres på objektive kriterier, såsom jordbundstyper og afstand til el-nettet - da screeningen også foregår i dialog med kommunerne, Energinet, samt opstillerne for vedvarende energianlæg. [Regeringen, m.fl., 2022a, s. 5]

Med udgangspunkt i Danmarks økonomisk og politiske tilgang, hvor markedsøkonomi påvirker samfundsudviklingen, kan den udarbejdede MOLA-algoritme således ikke angive en entydig løsning for, hvor energianlæg og andre arealinteresser skal placeres. Værktøjet kan dog være et redskab til at planlægge for flere arealinteresser ad gangen, med den fordel at der tages indbyrdes hensyn mellem dem, således at flere arealinteresser kan allokeres så optimalt som muligt. Desuden kan værktøjet fungere som et redskab der med sine objektive løsningsforslag kan være oplæg for dialog i planlægningsprocessen, hvilket også pointeres af fhv. forsker Esben Munk Sørensen under interviewet [bilag B].

Med henblik på at gøre Danmark uafhængig af russiske fossile energikilder, er der i klimaaftalen fra 2022 fastsat en målsætning om at firedoble den nuværende produktion af vedvarende energi fra anlæg på land frem mod 2030. Realiseringen af dette foranlediger en række arealmæssige udfordringer, der relaterer sig til den begrænsede arealressource i det åbne land og den lokale opposition, som ofte opstår i forbindelse med placering af vedvarende energianlæg, der betragtes som locally unwanted land uses (LULUs). I foranalysen blev det konstateret, at der er behov for en mere rationel, strategisk og topstyret tilgang for at lykkes med at opnå målsætningen inden for tidsrammen - ud fra tesen; *"nogen bliver nødt til at sætte stregerne på et kort"*. Der foreslås således en tilgang til allokering af arealinteresser, hvor rationelle beslutningsstøttesystemer kombineres med et fokus på informationsformidling og -udveksling med de involverede aktører. I den sammenhæng viste undersøgelserne fra foranalysen, at MOLA er et effektivt værktøj til at understøtte beslutningsprocessen relateret til komplekse allokeringproblestillinger.

Ovenstående konklusioner ledte til følgende problemformulering:

Hvordan udvikles en MOLA-algoritme, der optimerer allokeringen af vedvarende energianlæg - under hensyntagen til øvrige arealinteresser i det åbne land?

I hovedanalysens første kapitel (kap. 8) blev der præsenteret en række teoretiske og metodiske overvejelser, samt foretaget afgrænsninger for projektets hovedanalyse. Dette var nødvendigt, eftersom der ikke foreligger en fastlagt og entydig fremgangsmåde til håndtering af MOLA-problestillinger. Ved optimering af allokering kan der eksempelvis anvendes forskellige algoritmiske metoder, hvoraf de mest anvendte er Genetic Algorithms (GA), Simulated Annealing (SA) og Particle Swarm Optimization (PSO), der alle er heuristiske tilgange. På baggrund af en sammenligning af metoderne blev det valgt at tage afsæt i GA, der generelt overgår de øvrige både med hensyn til løsningskvalitet og effektivitet. Der blev ligeledes foretaget et valg om at anvende en rasterbaseret datamodel, samt at inkludere muligheden for multifunktionel arealanvendelse, hvor flere interesser kan placeres på samme areal. Årsagen til sidstnævnte var, at konklusionerne fra foranalysen tydeliggjorde, at multifunktionalitet bør udgøre en del af løsningen på arealudfordringerne.

Formålet med kapitel 9 var at sætte rammerne for multikriterieanalyserne og præsentere de afledte suitability maps, der fungerer som input til MOLA-algoritmen. Forudsætningen for dette var, at der skulle foretages en afgræsning af, hvilke arealinteresser som skulle indgå, samt udvælges et caseområde, som algoritmen kunne blive testet på. Her blev Morsø Kommune udvalgt som caseområde - primært som resultat af, at der forekommer en høj procentvis andel af landbrugsjord. På baggrund af erfaringer fra et tidligere studie og for at reducere kompleksiteten, blev der blot udvalgt fire arealinteresser; vindmøller, solceller, lavbundsarealer og grønne korridorer. Disse interesser blev efterfølgende sammenholdt i et matrixdiagram med henblik på at afklare deres indbyrdes potentiale for multifunktionalitet.

I kapitel 10 blev de grundlæggende designprincipper og funktionalitet for den udviklede MOLA-algoritme præsenteret - herunder en gennemgang af den overordnede tilgang til, hvordan gener udtrykkes i genetiske algoritmer, samt hvordan arealmæssige restriktioner håndteres. For at kunne vurdere de forskellige allokeringsforslags egnethed mod hinanden, var det nødvendigt at fastsætte et udtryk for fitness, der er en numerisk værdi for hvor godt de opfylder de opstillede målsætninger. Udregningen af fitness er i dette projekt vurderet på baggrund af tre parametre; 1) suitability, der er et mål for hvor egnede de allokerede celler er i forhold til den givne arealanvendelse, 2) compactness, der er et mål for, hvor kompakte de allokerede områder er og 3) contiguity, der er et mål for hvor forbundne de allokerede områder er. Den udviklede algoritme øger populationens fitness i en iterativ process, hvor der benyttes NSGA-II tilgangen til pareto-baseret udvælgelse. Når fastlagte stopkriterier er opfyldt, vurderes det at en approksimeret optimal løsning er fundet.

I kapitel 11 blev MOLA-algoritmen afprøvet på caseområdet Morsø Kommune med henblik på at evaluere dens anvendelighed i praksis og identificere eventuelle videreudviklingsmuligheder. Her blev algoritmen eksekveret flere gange for at vurdere virkningen af forskellige vægtninger for compactness, contiguity og suitability. I den forbindelse blev det konstateret, at der forekom en gennemgående udfordring med unødigt fragmentering, hvilket primært relaterede sig til parameteren contiguity. Det vurderes dog, at en del af problemstillingen skal tilskrives udformningen af de fire suitability maps, der udgør MOLA-algoritmens primære input, da restrictede områder påvirker, hvordan de allokerede arealer kan udformes. Ved en sammenligning af løsningsforslaget fra MOLA og koblingen af de mest velegnede celler fra de fire suitability maps blev det dog tydeligt, at tilgangen med MOLA bevirkede mindre grad af fragmentation end det var tilfældet ved MCA. I den sammenhæng blev det med markeringen af konfliktområderne også tydeliggjort, at det er fordelagtigt at allokere arealinteresser i en samlet proces gennem MOLA fremfor den traditionelle tilgang, hvor de behandles enkeltvis.

For at afbøde fragmenteringsudfordringen foreslås som videreudviklingsmulighed tilføjelsen af en ny mutationsoperator, som kan håndtere områder eller hele klynger frem for enkelte celler. Det ville ligeledes i fremtidige studier være hensigtsmæssigt, at implementere muligheden for angivelse af bestemte intervaller for klynge størrelserne, så der eksempelvis ikke allokeres for små arealer til placering af solcelleanlæg.

Det er afslutningsvis væsentligt at understrege, at den udviklede MOLA-algoritme ikke kan stå alene. Som det blev konstateret i afsnit 5.2 om rationel planlægning i en nutidig kontekst, er brugen af objektive beslutningsstøttesystemer kun den ene indikator for at opnå strategisk beslutningskvalitet og succesfuld lokal projektoptimering. Det er således nødvendigt at kombinere rationelle planlægningsværktøjer med et fokus på informationsformidling og -udveksling med de involverede aktører - i de dele af processen, hvor det giver mening. I en videnskabsteoretisk kontekst er der i dette projekt taget afsæt i en positivistisk verdensanskuelse (jf. afsnit 3.2), hvilket har gjort det oplagt at fokusere på udviklingen af rationelle optimeringsværktøjer. Aspektet med informationsudveksling med de lokale aktører er således ikke blevet behandlet yderligere i projektet, men det kunne være en interessant vinkel for fremtidige studier.

Projektets eksemplaritet

En af rammerne for problembaseret arbejde på Aalborg Universitet er, at projekterne skal være eksemplariske både i indhold og fremgangsmåde. Det vil sige, at viden og kompetencer opnået gennem forløbet skal kunne overføres til lignende situationer og anvendes i en kontekst, der går ud over projektet. Eksemplariteten forudsætter ligeledes en forståelse for rækkevidden af projektets konklusioner og hvor stor en del af problemet, der løses. [Aalborg Universitet, 2015]

I den sammenhæng er det væsentligt at understrege, at den udviklede MOLA-algoritme udelukkende skal betragtes som en prototype, der kan være med til at demonstrere mulighederne for at optimere processen med allokering af arealinteresser i det åbne land. For at opnå en fuldstændig funktionsdygtig MOLA-algoritme kræves altså, at der inddrages fagfolk (både planlæggere og udviklere) og at der arbejdes videre med nogle af de forslag til videreudvikling, der blev beskrevet i afsnit 11.2.

Algoritmen er dog udviklet på en måde, der gør den anvendelig i flere forskellige sammenhænge og den kan således tilpasses den konkrete situation ved at inkludere andre arealinteresser eller flere parametre i multikriterieanalyserne end dem, der er anvendt i dette projekt. Her kunne algoritmen eksempelvis anvendes til at allokere delinteresser; skovrejsning, rekreation og beskyttet natur mv., inden for den overordnede kategori natur.

MOLA-algoritmen kan ligeledes anvendes på forskellige planlægningsniveauer - statsligt, kommunalt eller lokalt. Ved at bruge den på et højere niveau, er der mulighed for at allokere arealinteresser uafhængigt af de administrative grænser, hvilket kan være hensigtsmæssigt med henblik på at skabe en mere sammenhængende planlægning. Omvendt kan det for et mindre geografisk område være en fordel, at algoritmens input og indstillinger kan tilpasses lokale, specifikke forhold.

Endeligt belyses aspektet med statslig indblanding. I den sammenhæng beskrives det ifølge Regeringen, m.fl. [2022a], at der i fremtiden kan være et øget behov for statslig planlægning, hvor indgreb såsom vedtagelsen af anlægslove med henblik på ekspropriation, kan blive aktuelle i forbindelse med etablering af vedvarende energianlæg. Hvis brugen af tvangsmæssige indgreb i fremtiden øges, kan brugen af

et rationelt beslutningsstøtteværktøj baseret på MOLA blive mere aktuel, eftersom ekspropriation kan anvendes til at inddrage de arealer, der objektivt udpeges som værende egnede for vedvarende energianlæg. Det tyder således på, at relevansen af projektets problemstilling, konklusioner og metodeudviklingen i forhold til MOLA-algoritmen ikke bliver mindre fremadrettet - i lyset af de tendenser, der går mod en mere topstyret tilgang.

Perspektivering 13

Som afrunding på projektet er følgende perspektivering udarbejdet for at behandle projektemnet i en bredere kontekst. Her overvejes det om det er muligt at nå de politiske målsætninger indenfor de fastsatte tidsrammer, eller om ekspropriation fremadrettet i højere grad kan være et medvirkende redskab til at fremme udbygningen af vedvarende energianlæg. Til sidst behandles det også, om der er behov for en anden tilgang til planlægningen for at nå målsætningen om øget natur.

Inden målsætningen om at firedoble elproduktionen fra solceller og landvindmøller blev vedtaget var forventningen, at elproduktionen fra disse anlæg ville stige fra 12 TWh i 2021 til 25 TWh i 2030. Efter målsætningen skal produktionen i stedet nå 50 TWh - altså skal udbygningen af vedvarende energianlæg på land ske tre gange så hurtigt som hidtil antaget. [Klima-, Energi- og Forsyningsministeriet, 2022]

Ifølge forslaget til landsplanredegørelsen er der ikke behov for statslig støtte til selve opførelsen af vedvarende energianlæg. Dermed må det antages, at det ikke skyldes et manglende økonomisk incitament, at den daværende forventede mængde af vedvarende energianlæg ikke ville have været af et større omfang. I stedet skyldes det sandsynligvis andre faktorer, såsom restriktioner og modstand overfor anlæggene, som tidligere er behandlet i kapitel 4.

En måde at facilitere processen for udbygningen af vedvarende energianlæg kunne være at anvende ekspropriation i højere grad. Således kan beboelsesejendomme, der ligger inden for afstandskravet til vindmøller blive eksproprieret - i tilfælde af, at de ikke frivilligt ønsker at sælge ejendommen til formålet. Ifølge Energistyrelsen [2019] er ekspropriation dog ikke normal praksis at anvende ved opførelse af vindmøller. I et fremtidsperspektiv er det sandsynligt, at ekspropriation i højere grad anvendes som et mere almindeligt redskab for at udbygge vedvarende energianlæg med henblik på at nå målsætningen. Med hjemmel i planlovens § 47, stk. 1 er det muligt for en kommune at ekspropriere fast ejendom, hvis det har væsentlig betydning for virkeliggørelsen af en lokalplan. Dette gælder også ekspropriation til fordel for private; eksempelvis vindmølleopstillere. Dog skal det formål, der eksproprieres til, tage afsæt i *"almene, saglige, samfundsmæssige interesser"*. [Mølbeck et al., 2019, s. 63-65]

For at anvende ekspropriation som redskab er der også en række andre betingelser, som skal være opfyldt for at ekspropriationen er lovlig. Blandt andet må ekspropriationen ikke omfatte et større areal end der er nødvendig for formålet [Mølbeck et al., 2019]. Dette indebærer derfor, at det kun er ejendomme der er beliggende inden for afstandskravet, som kan eksproprieres og dermed er det ved ekspropriation ikke muligt at skabe større afstand mellem naboer og vindmøller end nødvendigt.

Ved frivilligt opkøb foretaget af private udviklere, er det omvendt muligt for bygherre at skabe større områder til opstilling af vindmøller, hvilket kan mindske den lokale modstand. [Bolig- og Planstyrelsen, 2022]

Ekspropriation kan altså anvendes til at facilitere processen for opstilling af vindmøller, samt øvrige vedvarende energianlæg, så længe ekspropriationsbetingelserne er opfyldt.

CONCITO [2023] beskriver i en nylig udarbejdet rapport, der behandler fremtiden for Danmarks arealanvendelse, at hvis vi i fremtiden fortsat har spredt bebyggelse på landet, så vil flere landboere i fremtiden blive naboer til vedvarende energianlæg og andre teknologiske løsninger til fordel for omstillingen - fremtidige vilkår som landbeboere i højere grad må indfinde sig i.

CONCITO [2023] opsætter flere muligheder og overvejelser for, hvordan Danmarks areal i fremtiden skal anvendes og prioriteres, og hvilke effekter det medfører. Eksempelvis er der tre bud på, hvordan Danmark i fremtiden opfylder de internationale forpligtelser og målsætninger om mere natur. I de tre forslag er der fokus på henholdsvis beskyttelse af naturen, menneskers oplevelser i naturen, samt produktion af fødevarer. I det første forslag er naturen fokuspunktet og af den årsag placeres naturen der, hvor der er højest biodiversitetspotentiale. I det andet forslag placeres naturen nær byområder, således at byboere kan udfolde sig rekreativt i naturen - på bekostning af biodiversitetspotentialet. Det tredje forslag har en anden tilgang end de øvrige, hvor fødevarerproduktion fortsat er i fokus, og hvor Danmark i stedet kompenserer andre EU-lande for at afsætte mere areal til naturbeskyttelse. Argumentation for sidstnævnte forslag er blandt andet, at Danmark bør prioritere den frugtbare jord, der allerede er opdyrket, til fødevarerproduktion¹ - således, at skove og naturarealer i andre lande med mindre dyrkbar jord, ikke ryddes for at opretholde det globale fødevarerefterspørgsel². Hertil stiller CONCITO spørgsmål ved balancen mellem Danmarks globale og nationale ansvar.

Danmark står således overfor flere overvejelser og prioriteringer af, hvordan arealet skal anvendes og med afsæt i ovenstående er der flere alternative tilgange, der kan tages i brug - både i form af tvangsmæssige redskaber som ekspropriation for at etablere vedvarende energianlæg og kompensation til udlandet for at sikre mere beskyttet natur. Det er dog at foretrække, at alle målsætningerne kan opfyldes inden for Danmarks grænser, og hertil kan et MOLA-baseret beslutningsstøtteværktøj være anvendeligt, således at nye arealanvendelser placeres så hensigtsmæssigt, rationelt og optimalt som muligt.

¹Argumentet blev blandt andet nævnt i et oplæg af Tage Duer for CONCITO til konferencen 'planlægning eller kaos i det åbne land' d. 19. april 2023.

²CONCITO nævner muligheden for at ændre kostvaner som et andet alternativ til at begrænse arealet til fødevarerproduktion. Således at der i fremtiden spises mindre animalsk og mere plantebaseret.

Litteratur

- Aalborg Universitet, 2015.** Aalborg Universitet. *PBL - problembaseret læring*. Aalborg Universitet, 2015.
- Aarhus Universitet, 2023.** Aarhus Universitet. *Kvalitativ og kvantitativ forskning*, 2023. URL: <https://metodeguiden.au.dk/kvalitativ-og-kvantitativ-forskning>. Læst 13.05.2023.
- Ackoff, 1981.** Russel L. Ackoff. *The art and science of mess management*. Interfaces, 1981.
- Aerts et al., 2005.** Jeroen Aerts, Marjan Van Herwijnen, Ron Janssen og Theodor Stewart. *Evaluating Spatial Design Techniques for Solving Land-use Allocation Problems*. Journal of Environmental Planning and Management, 2005.
- Agnihotri, 2023.** Nikhil Agnihotri. *What are different types of Artificial Intelligence?*, 2023. URL: <https://www.engineersgarage.com/what-are-different-types-of-artificial-intelligence/>. Læst 22.05.2023.
- Ahrenkiel, 2020.** Linda Ahrenkiel. *Positivisme*. Nationalt videncenter for læremidler, 2020.
- Allmendinger, 2009.** Philip Allmendinger. *Planning Theory*. Palgrave-Macmillan, 2009. ISBN 9780230380028.
- Andreasen, 2020.** Claus Bo Andreasen. *Mange udfordringer ved udtagning af lavbundsjord*, 2020. URL: <https://dca.au.dk/aktuelt/nyheder/vis/artikel/mange-udfordringer-ved-udtagning-af-lavbundsjord/>. Læst 18.05.2023.
- Aote et al., 2013.** Shailendra S. Aote, M Raghuwanshi og Latesh Malik. *A Brief Review on Particle Swarm Optimization: Limitations & Future Directions*. International Journal of Computer Science Engineering, 2(5), 196–200, 2013.
- Balstrøm et al., 2006.** Thomas Balstrøm, Ole Jacobi og Lars Bodum. *Bogen om GIS og geodata*. Forlaget GIS og Geodata, 1 edition, 2006. ISBN 978-87-991-4460-0.
- Bodhankar et al., 2022.** Sarika Bodhankar, Kshama Gupta, Pramod Kumar og S. K. Srivastav. *GIS-Based Multi-Objective Urban Land Allocation Approach for Optimal Allocation of Urban Land Uses*. Journal of the Indian Society of Remote Sensing, 50, 763–774, 2022.

- Bolelli et al., 2022.** Federico Bolelli, Stefano Allegretti og Costantino Grana. *Connected Components Labeling on Bitonal Images*. Image Analysis and Processing, 2022.
- Bolig- og Planstyrelsen, 2022.** Bolig- og Planstyrelsen. *Vejledning om planlægning for og tilladelse til opstilling af vindmøller*, 2022. URL: https://planinfo.dk/Media/637909682911065239/vejledning_om_planlaegning_for_og_tilladelse_til_opstilling_af_vindmoeller_jan2022.pdf. Læst 04.05.2023.
- Boulding, 1975.** Kenneth E. Boulding. *Reflections on planning: The value of uncertainty*. Planning Review, 1975.
- Bregnhøj og Mikkelsen, 2022.** Hans Jørgen Bregnhøj og Ole Aarup Mikkelsen. *Norge - geografi*, 2022. URL: https://denstoredanske.lex.dk/Norge_-_geografi. Læst 15.03.2023.
- Cao et al., 2012.** Kai Cao, Bo Huang, Shaowen Wang og Hui Lin. *Sustainable land use optimization using Boundary-based Fast Genetic Algorithm*. Computers, Environment and Urban Systems, 2012.
- Cazacu, 2016.** Razvan Cazacu. *Comparison between the Performance of GA and PSO in Structural Optimization Problems*. American Journal of Engineering Research, 5, 268–272, 2016.
- CONCITO, 2023.** CONCITO. *Danmarks arealer - Danmarks fremtid*, 2023. URL: https://concito.dk/files/media/document/Danmarks_arealer_web.pdf. Læst 04.05.2023.
- Dai og Ratick, 2014.** WeiWei Dai og Samuel J. Ratick. *Integrating a Raster Geographical Information System with Multi-Objective Land Allocation Optimization for Conservation Reserve Design*. Transactions in GIS, 2014.
- Danmarks Statistik, 2021.** Danmarks Statistik. *Arealopgørelser*, 2021. URL: <https://www.dst.dk/da/Statistik/emner/miljoe-og-energi/areal/arealopgoerelser>. Læst 15.03.2023.
- Danmarks Statistik, 2020.** Danmarks Statistik. *Danmarks landbrugsareal er stort internationalt set*, 2020. URL: <https://www.dst.dk/da/Statistik/nyheder-analyser-publ/nyt/NytHtml?cid=30807>. Læst 15.03.2023.
- Dansk Byplanlaboratorium, 2022.** Dansk Byplanlaboratorium. *Klimaet kommer i planloven*, 2022. URL: <https://www.byplanlab.dk/node/6002>. Læst 25.03.2023.
- DANVA, 2022.** DANVA. *Valg 2022: Lad os få en langsigtet plan for beskyttelse af vores drikkevand*, 2022. URL: <https://www.danva.dk/nyheder/2022/lad-os-faa-en-langsigtet-plan-for-beskyttelse-af-vores-drikkevand/>. Læst 22.05.2023.

- Davidoff og Reiner, 1962.** Paul Davidoff og Thomas Reiner. *A Choice Theory of Planning*. Journal of The American Planning Association, 1962.
- Dean, 2022.** Marco Dean. *A Practical Guide to Multi-Criteria Analysis*. University College London, 2022.
- Deb et al., 2002.** Kalyanmoy Deb, Amrit Pratap, Sameer Agarwal og T. Meyarivan. *A Fast and Elitist Multiobjective Genetic Algorithm: NSGA-II*. IEEE transactions on evolutionary computation, 2002.
- Demetriou, 2014.** Demetris Demetriou. *The Development of an Integrated Planning and Decision Support System (IPDSS) for Land Consolidation*. Springer, 2014. ISBN 978-3-319-02346-5.
- Den Danske Ordbog, 2023a.** Den Danske Ordbog. *teori*, 2023a. URL: <https://ordnet.dk/ddo/ordbog?query=teori>. Læst 16.05.2023.
- Den Danske Ordbog, 2023b.** Den Danske Ordbog. *metode*, 2023b. URL: <https://ordnet.dk/ddo/ordbog?query=metode>. Læst 16.05.2023.
- Den Europæiske Union, 2017.** Den Europæiske Union. *Livlige landdistrikter og landbrugsprodukter af høj kvalitet*, 2017. URL: https://european-union.europa.eu/priorities-and-actions/actions-topic/agriculture_da. Læst 15.03.2023.
- Det Europæiske Råd, 2022.** Det Europæiske Råd. *Infografik – Hvor kommer EU's energi fra?*, 2022. URL: <https://www.consilium.europa.eu/da/infographics/where-does-the-eu-s-energy-come-from/>. Læst 24.03.2023.
- Devine-Wright, 2013.** P. Devine-Wright. *Explaining “NIMBY” Objections to a Power Line: The Role of Personal, Place Attachment and Project-Related Factors*. Environment and Behavior, pages 761–781, 2013.
- Ejrnæs et al., 2022.** Rasmus Ejrnæs, Jesper Bladt og Camilla Fløjgaard. *Potentialet for at reservere 30% af landarealet til beskyttede og strengt beskyttede områder i Danmark*. Aarhus Universitet, 2022. ISBN 978-87-7156-706-9.
- Ek, 2005.** Kristina Ek. *Public and private attitudes towards “green” electricity: the case of Swedish wind power*. Energy policy, pages 1677–1689, 2005.
- Elliott, 2019.** Edward Elliott. *Normative Decision Theory*. Analysis, pages 755–772, 2019.
- Energistyrelsen, 2022.** Energistyrelsen. *Energiforbruget steg sidste år*, 2022. URL: <https://ens.dk/presse/energiforbruget-steg-sidste-aar>. Læst 25.03.2023.
- Energistyrelsen, 2019.** Energistyrelsen. *Notat om værditabsordningen*, 2019. URL: https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Vindenergi/notat_om_vaerditabsordningen.pdf. Læst 04.05.2023.

- Erhvervsstyrelsen, 2018.** Erhvervsstyrelsen. *Oversigt over nationale interesser i kommuneplanlægning*, 2018. URL: https://planinfo.dk/Media/637905270982118666/oversigt_over_nationale_interesser_i_kommuneplanlaegning.pdf. Læst 15.05.2023.
- Esri, 2023a.** Esri. *What is the Suitability Modeler?*, 2023a. URL: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/help/analysis/spatial-analyst/suitability-modeler/what-is-the-suitability-modeler.htm>. Læst 24.05.2023.
- Esri, 2023b.** Esri. *Weighted Sum*, 2023b. URL: <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/tools/spatial-analyst-toolbox/weighted-sum.htm>. Læst 24.05.2023.
- Europa-Kommissionen, 2020.** Europa-Kommissionen. *Meddelelse fra kommissionen til Europa-Parlamentet, Rådet, Det Europæiske Økonomiske og Sociale Udvalg og Regionsudvalget EU's biodiversitetsstrategi for 2030. Naturen skal bringes tilbage i vores liv*, 2020. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DA/TXT/?uri=CELEX:52020DC0380>. Læst 15.03.2023.
- Faludi, 1973.** Andreas Faludi. *A Reader in Planning Theory*. Oxford Pergamon Press, 1973.
- Fan et al., 2012.** Shaokun Fan, Leon Zhao, Wanchun Dou og Manlu Liu. *A framework for transformation from conceptual to logical workflow models*. Decision Support Systems, pages 781–794, 2012.
- Firestone et al., 2012.** Jeremy Firestone, Willett Kempton, Meredith Blaydes Lilley og Kateryna Samoteskul. *Public acceptance of offshore wind power across regions and through time*. Journal of Environmental Planning and Management, pages 1369–1386, 2012.
- Fonden Teknologirådet et al., 2017.** Fonden Teknologirådet, Aalborg Universitet og Velux Fonden. *Prioritering af Danmarks areal i fremtiden*, Fonden Teknologirådet, 2017. ISBN: 978-87-91614-67-5.
- Gao et al., 2020.** Peichao Gao, Haoyu Wang, Samuel A. Cushman, Changxiu Cheng, Changqing Song og Sijing Ye. *Sustainable land-use optimization using NSGA-II: theoretical and experimental comparisons of improved algorithms*. Landscape ecology, 2020.
- Geertman et al., 2013.** Stan Geertman, Fred Toppen og John Stillwell. *Planning Support Systems for Sustainable Urban Development*. Springer, 2013. ISBN 978-3-642-37532-3.
- George og Desmidt, 2016.** Bert George og Sebastian Desmidt. *Strategic-Decision Quality in Public Organizations: An Information Processing Perspective*. Administration and Society, 2016.

- Global Solar Atlas, 2023.** Global Solar Atlas. *Global solar atlas*, 2023. URL: <https://globalsolaratlas.info/map>. Læst 18.05.2023.
- Global Wind Atlas, 2023.** Global Wind Atlas. *Global wind atlas*, 2023. URL: <https://globalwindatlas.info/en>. Læst 18.05.2023.
- Gross, 2007.** Catherine Gross. *Community perspectives of wind energy in Australia: The application of a justice and community fairness framework to increase social acceptance*. Energy Policy, pages 2727–2736, 2007.
- Hansen, 2022.** Carsten Jahn Hansen. *Positivist theories og planning*. Aalborg Universitet, 2022.
- Hansen og Galland, 2022.** Carsten Jahn Hansen og Daniel Galland. *Collaborative and deliberative planning*. Aalborg Universitet, 2022.
- Hansen, 2021.** Sofus Steen Hansen. *Idé på bordet: Fremtidens drikkevand kan beskyttes under solceller*, 2021. URL: <https://www.tv2ostjylland.dk/skanderborg/ide-paa-bordet-fremtidens-drikkevand-kan-beskyttes-under-solceller>. Læst 20.03.2023.
- Hansson, 2005.** Sven Ove Hansson. *Decision Theory - A Brief Introduction*. Royal Institute of Technology, 2005.
- Harris og Batty, 1993.** Britton Harris og Michael Batty. *Locational Models, Geographic Information and Planning Support Systems*. Journal of Planning Education and Research, 12, 184–198, 1993.
- Hillier og Healey, 2016.** Jean Hillier og Patsy Healey. *Foundations of the Planning Enterprise*, volume 1. Routledge, 2016. ISBN 9780754627197.
- Hintze og Cleveland, 2016.** Arend Hintze og D. Cleveland. *Understanding the 4 Types of A.I.*, 2016. URL: <https://www.proquest.com/docview/1844751172?accountid=8144&parentSessionId=069d811TbTPkFosrfZP%2BNz01R08JviiHHUiXBpbuKXU%3D&pq-origsite=primo>. Læst 22.05.2023.
- Holm, 2016.** Andreas Beck Holm. *Videnskab i virkeligheden*. Samfundslitteratur, 1 edition, 2016. ISBN 978-87-593-1506-4.
- Huang og Zhang, 2014.** B. Huang og W. Zhang. *Sustainable land-use planning for a Downtown Lake Area in Central China: Multiobjective optimization approach aided by urban growth modeling*. Journal of Urban Planning and Development, 2014.
- IBM, 2023.** IBM. *What is machine learning?*, 2023. URL: <https://www.ibm.com/topics/machine-learning>. Læst 22.05.2023.
- Indenrigs- og Boligministeriet, 2022.** Indenrigs- og Boligministeriet. *Forslag til landsplanredegørelse 2022, Planlægning for grøn strøm til fremtidens Danmark*. Indenrigs og boligministeriet, 2022.

- Innes, 1996.** J. E. Innes. *Planning through consensus-building: A new view of the comprehensive planning ideal*. Journal of the American Association, 62(4), 460–472, 1996.
- Institut for Mekanik og Produktion, 2021.** Institut for Mekanik og Produktion. *Hvorfor ikke forene landbrug og solenergi på samme areal?*, 2021. URL: <https://mpe.au.dk/aktuelt/nyheder/nyhed/artikel/hvorfor-ikke-forene-landbrug-og-solenergi-paa-samme-areal>. Læst 20.03.2023.
- Institut for Molekylærbiologi og Genetik, 2023.** Institut for Molekylærbiologi og Genetik. *Mere mad pr. hektar*, 2023. URL: <https://mbg.au.dk/aktuelt/nyheder/artikel/mere-mad-pr-hektar>. Læst 15.03.2023.
- Ishizaka og Labib, 2011.** Alessio Ishizaka og Ashraf Labib. *Review of the main developments in the analytic hierarchy process*. Expert Systems with Applications, 38, 14336–14345, 2011.
- Jensen, 2022.** Ellen Højgaard Jensen. *Ellen Højgaard: Vores akutte arealbehov gør det endnu vigtigere, at Folketinget tør planlægge for hele landet*, 2022. URL: <https://byrummonitor.dk/Debat/art9039997/Vores-akutte-arealbehov-g%C3%B8r-det-endnu-vigtigere-at-Folketinget-t%C3%B8r-plan%C3%A6gge-for-hele-landet>. Læst 24.02.2023.
- Joiner, 2018.** Ida Arlene Joiner. *Artificial Intelligence: AI is Nearby*. Emerging Library Technologies, 2018.
- Keenan, 2003.** P. B. Keenan. *Decision Making Support Systems: Achievements and challenges for the New Decade*. University College Dublin, pages 28–39, 2003.
- Keiding, 2022.** Hans Keiding. *Blandingsøkonomi*, 2022. URL: <https://denstoredanske.lex.dk/blandings%C3%B8konomi>. Læst 09.05.2023.
- Kemp, 2008.** Karen Kemp. *Encyclopedia of geographic information science*. Sage, 2008.
- Khan og Mir, 2021.** Abas Khan og Mohammad Sarwar Mir. *Heuristic*. 2021.
- Kirkeministeriet, 2023.** Kirkeministeriet. *Kirkeministeriet offentliggør ny organisation*, 2023. URL: <https://www.km.dk/aktuelt/singlevisning/kirkeministeriet-offentliggoer-ny-organisation>. Læst 25.05.2023.
- Klima-, Energi- og Forsyningsministeriet, 2022.** Klima-, Energi- og Forsyningsministeriet. *Ny aftale understøtter en firedobling af elproduktionen fra solenergi og landvind frem mod 2030*, 2022. URL: <https://kefm.dk/Media/637917337888630707/Faktaark%20land%20VE.pdf>. Læst 04.05.2023.

- Klima-, Energi- og Forsyningsministeriet, 2020.** Klima-, Energi- og Forsyningsministeriet. *Klimahandlingsplan 2020*, Klima-, Energi- og Forsyningsministeriet, 2020.
- Klima-, Energi- og Forsyningsministeriet, 2015.** Klima-, Energi- og Forsyningsministeriet. *Parisaftalen 2015*, 2015. URL: <https://kefm.dk/klima-og-vejr/klimaforhandlinger/parisaftalen-2015>. Læst 24.02.2023.
- Kragh, 2023.** Helge Kragh. *videnskab*, 2023. URL: <https://denstoredanske.lex.dk/videnskab>. Læst 16.05.2023.
- Kumar og Kumar, 2014.** S. Kumar og R. Kumar. *Site suitability analysis for urban development of a Hill Town using GIS based multi-criteria evaluation technique: A case study of Nahan Town, Himachal Pradesh, India*. International Journal of Advanced Remote Sensing and GIS, pages 516–524, 2014.
- Kvale og Brinkmann, 2015.** Steinar Kvale og Svend Brinkmann. *Interview, Det kvalitative forskningsinterview som håndværk*. Hans Reitzels Forlag, 3 edition, 2015. ISBN 978-87-412-6015-0.
- Landbrugsstyrelsen, 2019.** Landbrugsstyrelsen. *Vejledning om gødsknings- og harmoniregler*, Miljø- og Fødevareministeriet, 2019. URL: https://lbst.dk/fileadmin/user_upload/NaturErhverv/Files/Landbrug/Goedningsregnskab/Vejledning_om_goedsknings-_og_harmoniregler_i_planperioden_2019_2020_version2.pdf.
- Larsen et al., 2020.** Philip Larsen, Frida Kunnerup, Simon Vinther, Ida Christensen, Signe Jensen og Mohammed Samaraat. *Udpegning af lavbundsarealer i Hallund Sogn*. Aalborg Universitet, 2020.
- Lawaetz, 2009.** Henrik Lawaetz. *Vindmøller i en dansk skov*, 2009. URL: <https://backend.orbit.dtu.dk/ws/portalfiles/portal/3739483/ris-r-1687.pdf>. Læst 01.05.2023.
- Li og Parrott, 2016.** Xin Li og Lael Parrott. *An improved Genetic Algorithm for spatial optimization of multi-objective and multi-site land use allocation*. Computers, Environment and Urban Systems, 59, 184–194, 2016.
- Liang, 2020.** Frank Liang. *Optimization Techniques — Simulated Annealing*, 2020. URL: <https://towardsdatascience.com/optimization-techniques-simulated-annealing-d6a4785a1de7>. Læst 25.04.2023.
- Lind og Tyle, 1988.** Allan Lind og Tom R. Tyle. *The Social Psychology of Procedural Justice*. Plenum Press, 1988.
- Lu et al., 2018.** Hai Lu, Jianyong Chen og Li Guo. *Energy Quality Management*. Comprehensive Energy Systems, 5, 258–314, 2018.

- Luan et al., 2021.** C. Luan, R. Liu og S. Peng. *Land-use suitability assessment for urban development using a GIS-based soft computing approach: A case study of Ili Valley, China*. Ecological Indicators, 2021.
- MacCoun, 2005.** Robert J. MacCoun. *Voice, Control, and Belonging: The Double-Edged Sword of Procedural Fairness*. 2005.
- Manikas og Cain, 1996.** Theodore W. Manikas og James T. Cain. *Genetic Algorithms vs. Simulated Annealing: A Comparison of Approaches for Solving the Circuit Partitioning Problem*. Computer Science and Engineering, 1996.
- Masoumi et al., 2017.** Zohreh Masoumi, Jamshid Maleki, Mohammad Sadi Mesgari og Ali Mansourian. *Using an Evolutionary Algorithm in Multi-objective Geographic Analysis for Land Use Allocation and Decision Supporting*. Geographical Analysis, pages 58–83, 2017.
- Merriam-Webster, 2023.** Merriam-Webster. *machine learning*, 2023. URL: <https://www.merriam-webster.com/dictionary/machine%20learning>. Læst 22.05.2023.
- Merriam Webster, 2023.** Merriam Webster. *mock up*, 2023. URL: <https://www.merriam-webster.com/dictionary/mock-up>. Læst 31.05.2023.
- Miljø- og Fødevareministeriet, 2018.** Miljø- og Fødevareministeriet. *Danmarks nationale skovprogram*. Miljø- og Fødevareministeriet, 2018. ISBN 978-87-7091-604-2.
- Miljøministeriet, 2020.** Miljøministeriet. *Danmarks energiresourcer og energiforbrug*, 2020. URL: <https://xn--miljtilstand-yjb.nu/temaer/naturressourcer/danmarks-energiressourcer-og-energiforbrug/>. Læst 25.03.2023.
- Miljøministeriet, 2023.** Miljøministeriet. *Udpegningstyperne under Grønt Danmarkskort*, 2023. URL: <https://mst.dk/natur-vand/natur/national-naturbeskyttelse/groent-danmarkskort/udpegningstyperne-under-groent-danmarkskort/>. Læst 22.05.2023.
- Miller og Goldberg, 1995.** Brad L. Miller og David E. Goldberg. *Genetic Algorithms, Tournament Selection, and the Effects of Noise*. Complex Systems, 1995.
- Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri, 2022.** Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri. *Udtagning af lavbundslande: Ny hjemmeside gør dig klogere på indsatsen*, 2022. URL: <https://lbst.dk/nyheder/nyhed/nyhed/udtagning-af-lavbundslande-ny-hjemmeside-goer-dig-klogere-paa-indsatsen>. Læst 04.04.2023.
- Mouter, 2020.** Niek Mouter. *Advances in transport policy and planning - standard transport appraisal methods*, volume 6. Elsevier, 2020. ISBN 978-0-12-820821-2.

- Munk-Hansen, 2018.** Carsten Munk-Hansen. *Retsvidenskabsteori*. Djøf Forlag, 2 edition, 2018.
- Mølbeck et al., 2019.** Hanne Mølbeck, Jens Flensborg og Søren Højgaard Mørup. *Ekspropriation i praksis*. Djøf forlag, 2 edition, 2019. ISBN 978-87-574-3610-5.
- Møller og Harrits, 2021.** Anne Mette Møller og Gitte Sommer Harrits. *Forskningsinterview: en praktisk og metodisk introduktion*. Djøf, 2021.
- Nair og Sooda, 2009.** T. R. Gopalakrishnan Nair og Kavitha Sooda. *Comparison of Genetic Algorithm and Simulated Annealing Technique for Optimal Path Selection In Network Routing*. KCG College of Technology, 2009.
- Nielsen, 2018.** Hanne Brendstrup Nielsen. *Landskabet er under pres*, 2018. URL: <https://www.niras.dk/indsigt/landskabet-er-under-pres/>. Læst 25.05.2023.
- Nygaard, 2011.** Bettina Nygaard. *Biodiveristet og korridorer i det åbne land*, 2011. URL: https://naturstyrelsen.dk/media/nst/Attachments/3Grnnekorridorer_compressed.pdf. Læst 25.04.2023.
- O'Brien, 2021.** May' O'Brien. *The role of a data model in GIS. Levels of GIS data model abstraction*. <https://slideplayer.com/user/10619674/>, 2021. Downloaded: 16-05-2022.
- OED, 2023.** OED. *Nimby*, 2023. URL: <https://www.oed.com/view/Entry/245895?redirectedFrom=nimby#eid>. Læst 29.05.2023.
- Petrova, 2016.** Maria A. Petrova. *From NIMBY to acceptance: Toward a novel framework — VESPA — For organizing and interpreting community concerns*. Renewable Energy, pages 1280–1294, 2016.
- Pontius og Si, 2015.** Robert G. Pontius og Kangping Si. *Spatial Decision Support Systems*. Clark University, 2015.
- Poumadère et al., 2012.** Marc Poumadère, Raquel Bertoldo og Jaleh Samadi. *Public perceptions and governance of controversial technologies to tackle climate change: nuclear power, carbon capture and storage, wind, and geoengineering*. 2012.
- Prechelt, 2000.** Lutz Prechelt. *An Empirical Comparison of Seven Programming Languages*. Computing Practices, 2000.
- Rahman og Szabó, 2021.** Mostafizur Rahman og György Szabó. *Multi-objective urban land use optimization using spatial data: A systematic review*. Sustainable Cities and Society, 74, 2021.
- Regeringen, 2022a.** Regeringen. *Danmark kan mere II*, Statsministeriet, 2022a.
- Regeringen, 2022b.** Regeringen. *Aftale om et mere grønt og sikkert Danmark*, 2022b. URL: <https://www.regeringen.dk/nyheder/2022/aftale-om-et-mere-groent-og-sikkert-danmark/>. Læst 19.03.2023.

- Regeringen, 2021.** Regeringen. *Ny infrastrukturplan på over 160 mia. kroner skal samle Danmark frem mod år 2035*, 2021. URL: <https://www.regeringen.dk/nyheder/2021/ny-infrastrukturplan-paa-over-160-mia-kroner-skal-samle-danmark-frem-mod-aar-2035/>. Læst 28.02.2023.
- Regeringen, m.fl., 2022a.** Regeringen, m.fl. *Klimaaf tale om grøn strøm og varme 2022. Et grønnere og sikre Danmark*, Statsministeriet, 2022a.
- Regeringen, m.fl., 2022b.** Regeringen, m.fl. *Opfølgning på evaluering af planloven m.v.*, Statsministeriet, 2022b.
- Schively, 2007.** C. Schively. *Understanding the NIMBY and LULU phenomena: reassessing our knowledge base and informing future research*. The name of the journal, 2007.
- Schmidt og Løgstrup, 2022.** Christina Haandbæk Schmidt og Louise Buch Løgstrup. *Hvad er videnskabsteori?* Nationalt videncenter for læremidler, 2022.
- Sherman, 2014.** Rick Sherman. *Business Intelligence Guidebook : From Data Integration to Analytics*. Elsevier Science Technology, 2014. ISBN 9780124115286.
- Skriver og Larsen, 2020.** Kai Skriver og Ole H. Larsen. *Dansk landbrug*, 2020. URL: https://denstoredanske.lex.dk/Dansk_landbrug. Læst 15.03.2023.
- Smith og McDonough, 2001.** Patrick D. Smith og Maureen H. McDonough. *Beyond Public Participation: Fairness in Natural Resource Decision Making*. Society and Natural Resources, pages 239–249, 2001.
- Song og Chen, 2018a.** Mingjie Song og DongMei Chen. *A comparison of three heuristic optimization algorithms for solving the multi-objective land allocation (MOLA) problem*. Annals of GIS, pages 19–31, 2018.
- Song og Chen, 2018b.** Mingjie Song og Dongmei Chen. *An improved knowledge-informed NSGA-II for multi-objective land allocation (MOLA)*. Geo-spatial Information Science, 2018.
- Strauch et al., 2019.** Michael Strauch, Anna F. Cord, Carola Pätzold, Sven Lautenbach, Andrea Kaim, Christian Schweitzer, Ralf Seppelt og Martin Volk. *Constraints in multi-objective optimization of land use allocation – Repair or penalize?* Environmental Modelling Software, 2019.
- Sugumaran og Degroote, 2010.** Ramanathan Sugumaran og John Degroote. *Spatial decision support systems: principles and practices*. Crc Press, 2010.
- Taillard, 2023.** Eric D. Taillard. *Design of Heuristic Algorithms for Hard Optimization*. Springer, 2023. ISBN 978-3-031-13713-6.
- Taylor, 1998.** Nigel Taylor. *Urban Planning Theory Since 1945*. SAGE Publications Ltd, 1998. ISBN 9781446218648.

- Thevenot, 2020.** Axel Thevenot. *Particle Swarm Optimization (PSO) Visually Explained*, 2020. URL: <https://towardsdatascience.com/particle-swarm-optimization-visually-explained-46289eeb2e14>. Læst 02.05.2023.
- Voogd, 1982.** J. H. Voogd. *Multicriteria evaluation for urban and regional planning*. Delftsche Uitgevers Maatschappi, 1982.
- Wind Estate A/S, 2022.** Wind Estate A/S. *Vindmølle- og Solcellepark ved Brorstrup - Anmodning om igangsætning af planproces*, 2022. URL: https://rebuild.dk/sites/default/files/sbsys_rebuild/Dagsordener/Byraadet%282022%29/13-10-2022/Dagsorden%28ID2507%29/Bilag/Punkt%20155%20Bilag%202%20Bilag_2_Ansoegning__Vindmoelle_og_Solcellepark_April_2022__Wind_Estate_2.pdf. Læst 25.04.2023.
- Wolsink, 2006.** Maarten Wolsink. *Invalid theory impedes our understanding: a critique on the persistence of the language of NIMBY*. Transactions, pages 85–91, 2006.
- Ziegler og de Oliveira, 2022.** Rafael Ziegler og Lya-Cynthia Porto de Oliveira. *Backcasting for sustainability – An approach to education for sustainable development in management*. The International Journal of Management Education, 20, 2022.

Interview referat - Karsten L. Willeberg-Nielsen



Dato: 27. februar 2023

Sted for interview: Online, Microsoft Teams

Baggrundsinformation om respondenten:

- Karsten er uddannet landinspektør og ansat i landinspektørfirmaet Mølbak Landinspektører.
- Inden ansættelsen i Mølbak var Karsten ansat 14 år i COWI, hvor han blandt andet indgik i et udviklingsprojekt for miljøministeriet vedrørende regionale landbrugsstrategier.
- Karstens viden og interesse for det åbne land stammer tilbage fra da han var ph.d. studerende.
- Inden hans ph.d. havde Karsten arbejdet i forskellige ministerier og havde en offentligretlig baggrund.
- I dag beskæftiger Karsten sig især med statslige ekspropriationer.

Indledende og åben samtale i starten af interviewet:

- Der er udfordringer omkring multifunktionel arealanvendelse, da man mangler visualisering for hvor det kan anvendes, og da der mangler værktøjer til det.
- Kommuneplanlægningen vi kender i dag er arvet af regionplanlægningen
- Kommuneplanlægningen er god til at prioritere arealinteresser, det er derfor at kommunerne har sikret hovedparten af det åbne land til landbrugsproduktion - som Karsten vil betegne som en succeshistorie.
- *“Spørgsmålet er hvordan skal retningslinjer og kort udpegninger se ud, og hvordan skal forskellige arealinteresser sameksistere? - det er et andet paradigme, og en helt anden planlægningsopgave end den vi hidtil har stået overfor” (8:58)*
- Karsten mangler at se gode eksempler på kommuneplaner, hvor man har lykkedes med at lave kommuneplanlægning for multifunktionel arealanvendelse.
- Der er nogle eksempler på succesfulde multifunktionelle projekter, men disse er ikke indarbejdet i kommuneplanerne. Projekterne er dermed startet på lokalt niveau (bottom up)
- *“De steder, hvor der skal ske en mere multifunktionel arealanvendelse, hvordan skulle den planlægning så se ud? Det er det, jeg synes der mangler et svar på.” (12:41)*

- *“Der hvor der er behov for en multifunktionel arealanvendelse må være der, hvor der er en lang række arealinteresser, der presser sig på, og som umiddelbart er svær at prioritere ” (13:33)*
- Ved energiparker har kommunerne lavet lokalplanlægning, hvor man har taget hensyn til stier og biodiversitet.
- Karsten forventer, at det seneste udkast til en ny landsplanredegørelse bliver taget op igen i den nye regering, efter som den nye regering har samme ambitioner

Du skal til foråret holde oplæg om det åbne land. Oplægget hedder ‘fremtidens danmarkskort - hvad skal planlægning kunne?’. Hvad kommer det oplæg til at omhandle?

- Multifunktionalitet i det åbne land
- Tale om hvordan en national plan for fremtidens arealanvendelse kunne se ud

Er der nogle udfordringer der gør det svært at komme i mål med ønskerne for det åbne land?

- Nej ikke grundlæggende
- *“Jeg mener vi har et meget velfungerende planlægnings og forvaltningssystem i Danmark” (18:38)*
- *“Jeg mener at regionplanerne og efterfølgende kommuneplanerne har vist deres værd i forhold til at sikre særlig landbrug og skovbrugets arealinteresser i det åbne land” (18:54)*
- *“Spørgsmålet er, om vi kan videreudvikle kommuneplanlægningen for det åbne land, så det kan varetage en mere multifunktionel eller divers dagsorden, hvor det ikke kun handler om at beskytte de gode arealer til landbruget og skovbruget, men hvor det tværtimod handler om at opretholde en effektiv husdyr og planteproduktion i Danmark, samtidig med at kan producere energi, videreudvikle ny natur, øge biodiversiteten, og så videre.” (19:30)*
- Det grønne danmarkskort blev udviklet for nogle år siden, ved brug af GIS kan man se hvor langt man er kommet - Karsten tror, at det er under en procent af de udpegede områder, der er blevet omdannet til ny natur.
- Der mangler implementeringsværktøjer og økonomi for at komme i mål med det grønne danmarkskort
- Biologer mener, at den danske natur er for lille og for opsplittet - hvis flora og fauna skal udvikle sig, så kræver det større områder
- *“Det at man udpeger et område i kommuneplanen til ny natur, gør ikke, at det kommer til at ske. Det betyder allerhøjest, at man får afslag til at etablere ny infrastruktur, nye bygninger og anlæg. Landmændene får eksempelvis ikke et højere tilskud til at rejse skov i de områder.” (22:20)*
- Der mangler økonomiske tiltag for, at der bliver etableret ny natur

Er det muligt at lave et samarbejde mellem staten og kommunerne for at lave naturområder til det grønne danmarkskort? Kræver det et større samarbejde mellem staten og kommunerne?

- Ja

- Lokalt bliver der udviklet projekter, hvor naturstyrelsen laver projekter med kommunerne - men det er på et lokalt niveau, og det er ikke en strategisk udvikling
- Man bør i højere grad inddrage den private sektor (fx. private skovsektor, som er større end den offentlige skovsektor)

Er der nogle arealinteresser, der er sværere at imødekomme end andre arealinteresser?

- Principielt ikke, men der er nogle arealinteresser, der er økonomisk stærkere end andre
- De arealinteresser, der ikke har økonomi knyttet til sig, kan have mindre interesse
- Ejendomme nær rekreative tilbud kan stige i værdi
- Der kan være behov for at løse den hårde planlægning, der mest prioriterer landbrug
- Tidligere har der været udpegning og planlægning, der har udpeget områder til lokalisering for landbrug, husdyrproduktion og biogasanlæg
- Denne udpegning er i dag forældet, og ligger for langt tilbage, men måske skulle man tage det op igen.
- I Holland har man en højere beholdning tæthed med tre gange så mange indbyggere, samtidig med at deres landbrugsareal er lige så stor som i DK og har en svineproduktion der tilsvarende den danske.
- *“I Holland har de har en en svineproduktion, der er næsten lige så stor som den danske, og landbrugsarealerne er også nogenlunde den samme, men de bor altså 3 gange så mange mennesker, og det gør, at de har været tvunget til at have en mere progressiv tilgang til planlægning og forvaltning af det åbne land.” (31.25)*
- I Holland har man udpeget udviklingsområder for landbrug, hvor samfundet har investeret i landbruget - eksempelvis veje til kun landbrugskøretøjer. Det gør det mere attraktivt at købe og etablere landbrug i de områder.
- I Danmark er man traditionsbundne på den måde, der drives landbrug på
- Der sker en ændring for det danske landbrug inden for de næste 30 år, hvor investorer udefra kommer til at påvirke landbruget
- Der er strukturelle ting i samfundet, som planlægningen skal tage højde for

Er der plads til alle arealinteresserne? Og hvor stor en del af problemet kan løses ved at tænke multifunktionalitet?

- Godt spørgsmål
- Karsten mener, at Holland er lykkedes med at tilgodese mange arealinteresser, men der har man også investeret mange penge i det.
- Man skal lave en plan hen over fx. 30 år, hvor der løbende implementeres forskellige tiltag. Det vil også gøre, at landmænd kan planlægge deres generationsskifte.
- Der kommer hele tiden nye dagsordner - og derfor skal planlægningen ikke være mere låst end at man kan implementere de nye dagsordner

- *“Jeg mener vi har gode muligheder i Danmark for at tilgodese de arealinteresser, der er. Men det kræver, efter min opfattelse, at vi udvikler den fysiske planlægning som metode, og at vi er bedre til at koble støtteordninger og andre økonomiske virkemidler sammen med planlægningen.” (40:18)*

I forbindelse med krigen i Ukraine, har man lavet en klimaaftale, hvor der er sat et mål om at firedoble produktionen af solenergi og vindenergi. Er det realistisk at nå denne målsætning?

- Karsten mener, at vi er godt på vej for at nå målsætningen
- Karsten mener, at vi er godt på vej, fordi solcelle-opstillerne har været gode til at forhandle med folk lokalt, og sørget for at lokale ønsker er varetaget.
- Den seneste forslag til ny landsplanredegørelse kommer 5-8 år for sent. Hvis den var kommet før, så havde opstillerne for solceller et bedre udgangspunkt for hvor de skulle forhandle og opstille solceller
- Branchen er indstillet på, hvordan man får lavet vellykkede projekter, som lokalsamfundet er glade for.
- Man har sprunget kommuneplanen over, og i stedet gået direkte til lokalplanlægning og landzonetilladelse
- Solcelle-opstillerne har ikke vidst om kommunen har været mod- eller medspiller for projekterne indtil man fik sendt ansøgningen afsted til kommunerne - netop fordi det ikke er behandlet i kommuneplanen
- Et af de spørgsmål, som man slet ikke har diskuteret er, hvad der skal ske med arealerne bagefter. Ved fx råstofindvinding er der krav om, hvordan arealet skal være efterfølgende.
- Solcelleanlæg er måske ikke permanent et voldsomt indgreb i landskabet - sammenlignet med råstofgravning, som fuldstændig ændrer på terrænet. Ved solceller gør man meget for at bevare de eksisterende terrænforhold.

Ved du om man oplever mest modstand fra borgere ved vindmøller eller solceller?

- Det har Karsten ikke nogen kvalificeret mening om. På vindmølleområdet findes der nogle ret præcise kriterier for, hvor tæt de må stå på beboelse og sådan noget. Det gør der ikke på samme måde for solceller. Ved vindmøller er der nogle umiddelbare gener, som man kan kvantificere.
- Dem der stiller vindmøller op, opkøber også beboelse hvis det ligger for tæt på deres projekt. (48.01)
- Det kan man ikke på samme måde gøre med solceller. Der kommer det meget an på terrænforhold og om der ligger en skov mellem beboelsen og opstillingsarealet (der fjernes mange af generne).

Vil man i fremtiden prioritere, at man fx ikke opstiller solceller på det bedste landbrugsjord? Så man ser på jordbundsforholdene.

- Karsten vil tro, at det er et af kriterierne, som kommunerne kigger på. Det ville han i hvert fald synes var oplagt.
- Karsten synes dog, at det er lidt farligt alene at bruge jordbunds kvalitet som et udtryk for, hvor den mest værdifulde landbrugsjord er. Der er andre ting,

der også spiller ind. Der handler fx ofte om at have nogle vidensklynger/fødevarerklynge, hvor man eksempelvis har specialiseret sig i at dyrke kartofler. Det er med til at facilitere innovation fremadrettet. (50.19).

- Det er dog vigtigt at sikre, at drikkevandet ikke forurenes, hvis landbrugene ligger på sandet jord. Det er jo et andet spørgsmål, som har været et tabu i dansk planlægning - kan man differentiere gødningsregulering i forbindelse med den fysiske planlægning. Det gør man fx i Holland, hvor man i nogle områder regulerer, hvor meget gødning, der må spredes.
- Det kræver at man forsøger at sammentænke fysisk planlægning med den generelle arealanvendelseslovgivning, herunder gødningsregulering.

Kræver det en mere rationel/strategisk planlægning at komme i mål med alle de ønsker, som der er?

- Ja, det gør det. Men Karsten har lidt en aversion mod det der ord 'strategisk', for hvad betyder det egentlig? Strategisk planlægning handler for ham også om, hvordan man i sidste ende skal udføre/implementere ens planer.
- Det er lidt i stil med det som han snakkede om tidligere med at koble fysisk planlægning med økonomiske virkemidler. Det kunne godt være en definition af en mere strategisk planlægning. (53.07)
- Men det kommer an på, hvad man mener med det. For det kan jo også tolkes som en mere overordnet planlægning.
- Vores nationale planlægning består bare af en masse politikker på sektorområderne. Vi har ikke en egentlig national plan for arealanvendelsen. Det er vores største problem.
- Det andet problem er, at planlægningen for det åbne land foregår på kommuneniveau. Vi har ikke længere et regionalt niveau, hvor vi tænker tanker om arealanvendelse. Der er nogle dilemmaer i den måde, som vi har bygget vores system op på (54.05)
- Mere strategisk planlægning kan derfor også sikres ved fx at tre kommuner går sammen og kigger fælles på arealinteresserne. Det dur jo ikke hvis den ene kommune planlægger godt ift. det grønne Danmarkskort og så de tre omkringliggende kommuner slet ikke har taget højde for det. Så bliver det ikke en kvalificeret planlægning.
- Kasten mener, at der skal ske et større samarbejde på tværs af kommunerne

Synes du, at der skal laves en national planlægning? At det generelt skal ske på et højere politisk niveau end hvor det er nu?

- Ved VE-anlæg synes Karsten, at der er behov for en national plan.
- Man kan dog diskutere, hvad sådan en plan kunne og gøre? Karsten synes ikke der er behov for at flytte planlægningskompetencen væk fra det kommunale niveau. Han synes derimod, at det skal styrkes med mere fokus på at samarbejde med de tilstødende kommuner.
- Efter Karstens opfattelse skal den ikke indeholde konkrete arealudpegninger, men måske en identificering af nogle klynger
- Det grønne Danmarkskort er også en national plan, men den består jo bare af alle kommunernes planer lagt sammen. Hvis den nationale plan skal være

progressiv, så dur det jo ikke bare at samle alle kommunernes nuværende tanker og plotte dem ind på et kort. Der skal man starte fra den anden ende: hvad er der behov for og hvordan får vi prioriteret tingene. (57.17)

- Karsten er nervøs for at man tager skridtet videre og udpeger nogle regioner, hvor der skal være særlig fokus på en bestemt arealinteresse. Der tror han på at de private aktører og kommunerne selv kan finde ud af at få skabt rammerne og de konkrete projekter, der skal til.

Hvorfor bliver du nervøs for, at de laver sådan nogle regioner?

- Karsten tror at tingene er så komplekse og diverse, når man kommer ned på lokalt og kommunalt niveau, at en national plan ville have svært ved at favne det.
- Det som en national plan i højere grad kan, er at optimere rammerne for, at planlægningen kan lykkes. (58.35)
- Det er der jo også behov for at der bliver taget stilling til i Folketinget, hvis der skal være en bedre sammenhæng mellem de økonomiske virkemidler og kommunernes planlægning. For det er jo ikke noget, som man kan beslutte ude i de enkelte kommuner. Det er her de strategiske sammenhænge skal identificeres og lovgives omkring. Så det var mere sådan nogle ting, som Karsten synes en national plan burde beskæftige sig med. At optimere systemet og så lade det udfolde sig på lokalt niveau.

For at få opstillet alle de her VE-anlæg, er det så nødvendigt at lempe nogle af de nuværende arealbegrænsninger? Hvilke konsekvenser kan det medføre, at man begynder at lempe på dem? (59.55)

- Hvis man skal lykkes med en multifunktionel arealanvendelse, så kræver det efter hans opfattelse en mere fleksibel tilgang til arealregulering.
- I dag er det jo svært at etablere fx erstatningsnatur, selvom man kan få mere kvantitet og måske også kvalitet på længere sigt. Men der er vores naturbeskyttelseslovgivning jo ret statisk. Det tror Karsten, at der er behov for at løsne op for. Det kan man jo også gøre på en forsvarlig måde overfor naturen.
- I forbindelse med de store infrastrukturprojekter bliver der jo også i vidt omfang lavet erstatningsnatur. Det kender han meget til, da han arbejder med statslige ekspropriationer. På det område er erstatningsnatur et veletableret begreb. Man accepterer det modvilligt, når det er i konflikt med en statslig interesse (1.02.23). Men man er slet ikke lige så tilbøjelig til at gøre det, når der er tale om et lokalt udviklingsprojekt.
- Med det vidensniveau som vi har i dag, så er Karsten tryk ved at vi godt kunne løsne lidt op.
- Vi har jo heller ikke snakket om jordfordeling, som jo også er en måde at få tingene til at gå op på. Jordfordeling bliver dog italesat som det eneste virkemiddel, men der mener Karsten, at det skal ses i sammenhæng med mange andre virkemidler, for at få skabt de her lokale udviklingsprojekter.

Er der nogle politiske værktøjer, der enten skal fjernes eller ændres for at man får en bedre planlægning i DK. Er der nogle af de processer, som vi har i dag, der skal justeres?

- Mange har snakket om, at den inddeling, der er mellem landzone, byzone og sommerhusområder er for statisk. Den er ikke differentieret nok. (1.04.57).
- Der har været forskellige ideer fremme - fx en inddeling i landbrugszone, naturzone, beboelseszone mv.
- Behov for at se mere nuanceret på det. Der findes f.eks. 10 forskellige versioner af, hvor intensivt landbrug er. Og det skal man også kunne tilgodese gennem planlægningen.
- Karsten synes, at der er behov for en meget mere differentieret landzoneadministration. Men det kan man godt indarbejde i de regler, som der allerede findes. Det er selve forvaltningen af reglerne, der skal ske på en mere differentieret måde. (1.06.36)
- Hvis man laver landbrugsbygninger om til ferielejligheder, så bliver området urbaniseret, hvilket er lidt imod principperne for landzoneadministrationen. Det kunne man godt tænke sig, at kommuneplanen havde nogle retningslinjer for. Planlægning skal være mere detaljeret på det område.

Hvor meget skal man tage hensyn til den modstand, der opstår som følge af placering af VE-anlæg?

- Det er noget af det, som de forsøger at italesætte med udkastet til landsplanredegørelsen (1.09.45) Som mange kommuner allerede har både gode og dårlige erfaringer med.
- Man skal tage så meget hensyn, som det er muligt i forhold til at få projekterne realiseret. Der er et balancepunkt - opstillerne kan tage hensyn til nogle af ønskerne, hvor andre vil gøre projektet for dyrt, stort mv.
- Gennem de sidste 4-5 år har opstillerne været dygtige til at imødekomme mange af de interesser som lokalsamfundene peger på ved at have en åben dialogproces, holde borgermøde forud og prøver at inddrage lokalområdets ønsker i projekteringen af de her anlæg. Og det gør de jo fordi der er en økonomi i at tilpasse det - ellers ville de jo ikke gøre det (1.10.57).
- I nogle tilfælde er der ikke økonomi til at tilpasse sig til lokalsamfundets ønsker (selv de små og mindre indgribende ideer) og så er det jo spørgsmålet om der skal være et projekt der? Det er overvejelse kommunen står med.
- I nogle tilfælde ansøger opstillerne jo bare ift. deres optimale projekt og så ændres de i samarbejde med de lokale aktører, men i dag er processen i højere grad omvendt, hvor opstillerne først går ud i lokalområdet, har dialogen, tilpasser deres projekt og så sender de først ansøgningen ind derefter.
- Nogle kommuner har lavet retningslinjer omkring de her ting, som opstillerne skal forholde sig til.
- Man kan ikke generelt sige, hvor meget hensyn man skal tage - det må være op til den lokale proces. (1.12.48)
- Der vil stadig være nogle projekter, som ikke bliver til noget, men det er bare et sundhedstegn, der betyder at vores demokrati virker.

- Karsten har også set eksempler på fremragende projekter, der ikke er blevet til noget fordi der har været modstand, der i virkeligheden har bygget på fordomme fremfor realiteter (1.13.21)
- Begge ting findes, men jo dygtigere opstillere og bedre planlægning, desto bedre er forudsætningerne for, at de gode projekter kommer til at lykkes.

Hvordan kombinerer man en rationel planlægning med udpegning af områder til fx vedvarende energianlæg med de tendenser, der er til mere inddragelse?

- Det afhænger af de lokale processer. Hvad styrkeforholdet er mellem opstillernes rationale og lokalsamfundets ressourcer/interesser kontra de politiske intentioner og ambitioner i den pågældende kommune. Det er de tre parametre, der skal finde en balancegang. Det er svært at sætte på formel på forhånd.
- Jo større ressourcer der er hos borgerne, desto stærkere ressourcer er der også behov for at være hos opstillerne og kommunen for at give modspil til det. (1.15.49). Sådan fungerer markedsmekasnikerne. Det er der også en nøgtern erkendelse af hos opstillerne, hvis man skal opstille anlæggene i meget ressourcestærke områder, så kræver det at de har et meget bedre projekt end det ville kræve på Lolland eller i Sønderjylland.
- Men der skal jo heller ikke mere end et par ressourcestærke personer i en landsby til at vælte de her projekter. Nogle af de projekter, der ikke bliver til noget er måske baseret på nogle meget få ressourcestærke modstandere, der formår at få samle hele lokalsamfundet i protest.
- National udpegning af nogle meget store områder kommer ikke til at løsne op for konflikter. Karsten tror ikke, at en ministriel veto til at gennemføre nogle højt prioriterede projekter vil være gavnligt for den proces.
- Dem der opstiller solceller har allerede projekter i pipelinen til 60-70% af de anlæg, som der skal etableres. (1.17.47) Det kan godt være at de endnu ikke har fået godkendelse, men de er i hvert fald i proces.
- Det handler om at få styrket sammenspillet i planlægningen og lave støtteordninger på det her område.

Ved du om man bruger geografiske beslutningsstøtteværktøjer?

- Det tror han, at man gør - både i kommunerne ift. den forudgående kommuneplanlægning, men også i meget høj grad hos opstillerne.
- Men en vigtig parameter er i hvert fald hvor de her stærkstrømskabler går henne. Og opstillerne har jo også talt meget om, at man bliver nødt til at lave en udbygning af stærkstrømsledningsnettet, hvis man skal i mål med det. For de steder, hvor vi kan lave nogle store opstillinger i det åbne land er jo ikke der hvor forbruget af el er størst. Så der skal være et meget veludbygget net, før det giver mening at lave nogle solcelleopstillinger på nogle meget rurale områder. (1.20.24)
- Opstillerne er allerede dygtige til at tænke det ind i dag, fordi det skal være med til at bringe økonomi ind i deres projekter.

Hvad er fordelene og ulemperne ved at anvende beslutningsstøtteværktøjer?

- Karsten kan kun se, at det er godt.
- Men det handler jo i høj grad om at have noget kvalificeret data og at man har en stor variation af data, som man ved hvordan man skal vægte i de sammenhænge.
- Demografiske data og data om infrastruktur bliver vigtigt at have med, så man ikke bare har data om de eksisterende forhold, men også alle de planer der ligger for ændringerne af arealanvendelsen. (1.21.52)

Hvad tænker du om den del landbruget udgør af det samlede areal - bør det formindskes eller ej?

- Karsten er enig i at det fylder for meget, men han er ikke nødvendigvis enig i, at vi skal have en mindre produktion. Han tror at vi skal have en anden produktion - en højkvalitetsproduktion og en udviklingsproduktion, fordi det danske landbrug netop har vist sig at være meget innovativ og omstillingsparat. (1.22.49)
- DK skal udvikle fremtidens metoder til fødevareproduktion. Masseproduktionen kan man producere andre steder i verden, men med de grønne metoder, der udvikles i Danmark.
- Den traditionelle måde at dyrke landbrug på kommer til at fylde mindre, men til gengæld bliver det der produceres på de arealer noget, der kan sælges til en langt højere pris.
- Karsten tænker, at landbruget skal fylde mindre rent arealmæssigt, men ikke fylde mindre rent økonomisk set.
- Den grønne omstilling af landbruget er et område, der fylder meget for tiden.
- Man kan godt tillade sig, at være optimistisk, da landmændene godt er klar over, at der skal nytænkning til.

Afsluttende bemærkninger

- Karsten tror ikke på, at vi i Danmark kommer til at brødføde verden, men derimod til at udvikle den teknologi og systemer, der kommer til at redde verdens fødevareproduktion.
- Det nytter ikke bare at flytte landbrugsproduktionen til nogle lande, hvor miljøkravene er mindre
- Danmark skal ikke blive til et naturmuseum.
- Han foreslår at vi kigger på metodikken for det åbne land, for der kan være nogle gode koblingen mellem en planlægningsviden og en GIS-viden. Hvordan udpeger man områder i en kommune, hvor der er et særligt behov for at have en mere multifunktionel arealanvendelse? Hvordan kan konkrete retningslinjer i forhold til de udpegninger så se ud, som skal sikre en mere multifunktionel arealanvendelse? Det er efter hans mening, de to basale ting, der er behov for at videreudvikle i kommuneplanlægningen.

Interview referat - Esben Munk Sørensen

B

Dato: 1. marts 2023

Sted for interview: Create, Aalborg Universitet

Baggrundsinformation om respondenter:

- Esben er uddannet landinspektør, og har gennem en længere årrække været tilknyttet Aalborg Universitet.
- Esben har både undervist og forsket på Aalborg universitet, og har i 40 år været ansat af staten.
- Esben fratrådte sin stilling sidste år for at gå på pension
- Esbens forskning har fokuseret på prioritering af arealer, herunder multifunktionel jordfordeling, samt arealforvaltning og ejendomsudvikling gennem planlægning.

Indledende og åben samtale i starten af interviewet:

- Esben har interessen for det åbne lands planlægning fordi han er landinspektør, hvortil at han ser at landskabsudviklingen er drevet af ejendomsudviklingen
- Siden 1925 har man ville intensivere og stimulere landbrugsproduktionens udvikling - dette har man dog aldrig taget et opgør med, hvilket giver plankaos
- Der er kommet nye internationale begreber, der beskriver om der arbejdes monofunktionalitet eller multifunktionalitet - land sharing land sparing
- Esben var med til at lave rapporten fra 2016 vedrørende areal prioritering - der er flere ting som ikke var med i den analyse - eksempelvis blev lavbundsområder ikke medregnet. Til gengæld blev biobrændsel medregnet, selvom det ikke har slået igennem, da det ikke er så miljøvenligt som man dengang antog
- Sol- og vindenergi er også udvidet sig siden, og i den forbindelse er infrastruktur en vigtig faktor at indtænke ved placering af VE-anlæg
- VE-anlæg er blevet en stor forretning
- VE-anlæg er ikke så synlig i et fladt land som i DK, kontra lande med mere kuperet terræn, hvor anlæggene kan ses fra lange afstande. I DK kan man hurtigt afskærme anlæggene med træer.
- Det første der er skrevet om areal prioritering er: Design With Nature af Ian L. McHarg. Bygger på, at man kan kortlægge interesser og bruge kartografiens metode til at udtrykke en interesse.
- Lars Brodersen - det at skrive en arealinteresse med en værdi udtrykker også en prioritering

- Hvis man ikke medregner infrastruktur til planlægning for VE-anlæg, så får man ikke nogle fornuftige resultater.
- De værdier vi lægger ind i en raster analyse er afgørende og disse værdier skal redegøres for

Hvor meget bruger man geografiske beslutningsværktøjer i dag til planlægningen af det åbne land?

- Planlægningen er mange ting og man bruger det mange steder i forbindelse med planlægning, fx. inden for driftsplanlægning ved fx vejdirektoratet
- Teknologien og geografisk data udvikler sig meget, og det anvendes i dag alle steder.
- Indenfor planlægning er der analyser, forskning og udvikling, drift og beslutningstagning.
- Hvilke typer af opgaver er det der arbejdes med? Her skal man se scenarier som grundlag for beslutningstagning. Strategisk planlægning er det der arbejdes med i dette projekt.
- Udviklingen af et værktøj er en strategisk og iterativ process
- *“GIS er et fantastisk værktøj til at skabe overblik til beslutningstagningen, og til drift” (14:10)*
- Esben har været med i ‘samrådet for geografisk information’. Så Esben ved, at det anvendes mange steder
- De teknologiske spring der er sket siden 2000 er fantastiske
- Når man genbruger data, opstår der ofte problemer. Data der er god data i en sammenhæng er nødvendigvis ikke god data i en anden sammenhæng. Et eksempel hvor der er opstået problemer ved at genbruge data, var da man anvendte BBR til udbetaling af varmechecks, hvor mange husejere uberettiget fik varmechecks. Det samme er også problemet ved det nye ejendomsdatasystem, hvor man er blevet bevidst om at man ikke har data, der er god nok til det nye vurderingssystem.
- Arbejdet med stedbemt information er legio (utallige) i dag

Hvilke af ønskerne for det åbne land, tænker du er sværest at imødekomme?

- Den største udfordring er at tage opgøret med landbrugspligten og finde noget, der kan afløse den.
- Nogle mener, at der skal laves en landzone - det mener Esben ikke virker, da det er væsentligt at komme ind på fast ejendom. I stedet foreslår Esben, at indføre ‘Natur-pligt’
- *“Landbrugspligt er en fredning og beskyttelse af jord til fortsat landbrugsdrift” (25:37)*
- De initiativer, der hidtil er lavet er støtteordninger og midlertidige. Ofte er EU-støtte inde over.
- *“Den grundlæggende fast ejendoms regulering har man ikke taget opgøret med - man har kun gjort det ved skov, hvor landbrugspligten afløses af en fredskovsnotering” (26:28)*

- Naturtiltag er midlertidige og initiativet sker gennem støtteordninger, men sagens kerne er at arealerne skal pålægges en fast ejendoms regulering, og fremtidigt være permanent natur

Er det muligt at få plads til det hele?

- Esben mener, at det er muligt, men at man skal prioritere
- Han mener, at der mangler en landsplan, der påviser hvor der skal ekstensiveres
- Der mangler nogle klare og overordnede lansplanudmeldninger
- Esben er kritisk over, at den seneste udkast til landsplan er lagt hen til Kirkeministeriet. Esben mener, at hvis politikerne fandt planlægning mere vigtigt, så var det placeret i et stærkere ministerium
- Enten vil det åbne land være planlægnings styret ellers vil det være styret at markedet - hvor anlæg placeres hvor det er billigt
- Hvis det styres af markedet, kan man måske opleve, at nogle arealer er mere efterspurgt end andre - også arealer der i højere grad bør beskyttes
- BNBO (boringsnære beskyttelsesområder) er gået i stå, fordi man ikke har lavet ordentlig planlægning
- Planlægning er dynamisk, hvor der hele tiden opstår nye situationer, der skal tages højde for. Eksempelvis har man over en længere periode planlagt for den 3. limfjordsforbindelse, som skal gå vest om aalborg. på denne strækning er der nærmest ingen huse fordi man har planlagt overtid, men så er der i stedet vand og naturinteresser der pludselig spiller ind i planlægningen.

Som følge af krigen i Ukraine, er der (gennem klimaaf tale) sat et mål om at 4 doble produktionen af solenergi og landvindenergi frem mod 2030. Er det realistisk at nå denne målsætning?

- Esben mener ikke det er realistisk at nå målet hvis man skal følge den nuværende VVM-procedure
- Esben forklarer, at når der opstilles vindmøller på hav, så følges der en hurtig sagsprocedure, hvor man forærer arealer til energi-producenterne. Det tilsvarende at man forære en råstofressource væk, hvilket er modstridende med EU-regler
- Det kræver et stærkt landsplandirektiv for at kunne nå målsætningen

Skal planlægningen i højere grad besluttet i et højere politisk niveau? (For at opnå bedre sammenhæng i planlægningen)

- Det mener Esben er nødvendigt
- *“Hvis arealpuslespillet skal løses effektivt med nogle håndterbare procedure, så er man nødt til at lave en stærk landsplan” (35:55)*
- Det blev også understreget i rapporten fra 2016 vedrørende areal prioritering
- Esben mener, at der skal laves en konkret statslig udpegning for hvor VE-anlæggene skal placeres

For at kunne opføre flere VE-anlæg, er der snak om at lempe på de arealbegrænsninger der i dag eksistere. Hvilke konsekvenser kan dette medføre?

- Det afhænger af, hvilke arealbegrænsninger der er tale om

- Landzonen har til formål at forbeholde landskabet til landbruget. For at kunne få plads til VE-anlæg, skal man i en vis grad opgive landzoneadministrationen, som gør, at det primært er landbrug der må opsætte anlæg i det åbne land.
- Hvis man lempet på arealbegrænsninger, så kan det medføre at man ikke længere har et uforstyrret landskab - det får en visuel påvirkning på det åbne land
- Solcelleanlæg og vindmøller er visuelt dominerende i landskabet

Kræves der en mere rationel planlægning af det åbne land i fremtiden?

- Esben forklarer, at det helt store spørgsmål ift rationel planlægning er; for hvem skal der laves rationel planlægning?
- Esben forklarer, at energiselskaber anvender GIS til at udpege arealer og anvender dermed rationel planlægning
- Man kan også anvende rationel planlægning i det offentlige. Hertil forklarer Esben, at staten kan lave rationel planlægning til udpegning af områder
- Esben forklarer, at det vil være fornuftigt hvis lokale borgere nær et VE-anlæg kan opkøbe 25% af aktiekapitalen i det pågældende anlæg - det er en måde, hvorpå naboer ikke er lige så modstridende overfor et oplæg
- *“Hvilke kriterier lægges der til grund for den rationelle planlægning? For den rationelle planlægning er drevet af målsætningen for den rationelle planlægning” (50:42)*
- Esben mener, at man kan lave rationel planlægning indenfor alle områder - men at man skal være opmærksom på hvem/hvilke fagfolk der sidder bag den rationelle planlægning. Hvis det eksempelvis er biologer, der sidder bag den rationelle planlægning får frøer måske en meget høj vægtning.
- Rationel planlægning er metoden, og afhænger af vægtningen der bliver sat på, som i høj grad afhænger af de fagfolk, der sidder med planlægningen

Den idealiserede ‘rene’ form for rationel planlægning har fået meget kritik - men kunne man koble nogle af principperne om transparens, brugen af beslutningsstøtteværktøjer, den videnskabelige tilgang mv. med de tendenser, der er i dag omkring deltagelsesprocesser i planlægning. osv.?

- Her skal man holde styr på, hvad målene er og hvilke værdier man går efter
- Det kan være fordelagtigt at lave en demografisk analyse og så finde områder i det åbne land hvor der er mange pensionister - hvortil man så kan opkøbe deres hjem
- Det er sværere at placere VE-anlæg på Nordsjælland end i Nordjylland, fordi det også afhænger af, hvor der er stærke borgere

I hvor høj grad skal man tage hensyn til modstand mod projekter, der etableres i det åbne land?

- Kontradiktion -> give modstand overfor planerne
- Der eksisterer GIS-løsninger, der er lavet til borgerinddragelse, således at folk kan følge med i det der foregår. Men her skal man være opmærksom og kritisk overfor det, der bliver fremvist

- *“Selvfølgelig skal man inddrage befolkningen, men befolkningen kan også blive så oplyst, at de finder ud af hvad der er i gang, og så kan ressourcestærke sætte sig imod” (58:09)*
- Esben forklarer, at der kommer flere ting i fremtiden hvor beslutninger må tages på et højere niveau, hvor man ikke inddrager borgere på samme vis i fremtiden

Er det retfærdigt, at større anlæg ikke placeres på nordsjælland, fordi der er mere modstand?

- Esben forklarer, at det er et spejl af magten - her gør magtrelationer sig gældende

Der er mange ønsker for det åbne land, og umiddelbart er der ikke plads til det hele - men hvor stor en del af problemet kan løses ved at tænke i multifunktionalitet?

- Esben mener, at det hele kan løses ved en robust planlægning
- *“I nogle områder skal man vælge at integrere områderne, så de bliver multifunktionelle, mens andre områder skal være monofunktionelle” (1:02:45)*
- Tidligere var der udpeget områder i region- og kommuneplanerne til særlig forurenende industri. I dag vil man have en renere teknologi og cirkulær økonomi, hvor der er krav om, at det der udledes fra virksomhederne skal være rent. Det gør, at forurenende virksomheder ikke behøver at være isoleret, og dermed gå væk fra monofunktionaliteten
- Nogle ting kan bringes sammen, mens andre ting ikke kan.

Interview referat - Henrik Vejre



Dato: 3. marts 2023

Sted for interview: Online, Microsoft Teams

Baggrundsinformation om respondenten:

- Professor på Københavns Universitet inden for Landskabsarkitektur og Planlægning
- Er blandt andet medforfatter af bogen 'Dialogbaseret planlægning i det åbne land'
- Uddannet agronom, med speciale i jordbund, samt ph.d. i skovøkologi
- Lektor i landskabsøkologi, som hørte under planlægning på KU
- Overordnet interessefelt: hvordan man får ting til at spille sammen i det åbne land

Du skal i foråret holde et oplæg med navn; 'Jordreform - hvad kræver den grønne omstilling' kan du komme ind på nogle af de emner, der behandles i det oplæg?

- Landskabets udmatrikulering, hvor sidste store håndtering for, hvad der skal ske med landskabet var i planreformen i 1969. Siden da har vi ikke grundlæggende taget stilling til, hvordan vi bruger arealerne i Danmark
- Henrik forklarer, at vi fortsat arbejder med et jordbrugslandskab, som er forældet
- Den grønne omstilling stiller nye krav: 10-30% ny natur, 24.000 ha til solceller, 260.000 ha skov, lavbundslande mv.
- Henrik mener, at for at få indpasset tiltagene, så skal tavlen viskes ren, hvor der startes forfra og landskabet i stedet indrettes efter det 21. århundredes behov
- Gennemgribende jordreform, hvor man gør arealinteresserne op, og placerer og gør plads til de forskellige arealinteresser
- For at løse biodiversitetskrisen, kræves det, at der etableres store sammenhængende naturområder
- Henrik mener, at når der er konflikter om arealet, så er det sjældent naturen, der vinder
- Landzonen giver rettigheder til landbruget, og siden vedtagelsen af den i 1969, har man forsøgt at trække nogle få rettigheder tilbage, fx gennem naturbeskyttelsesloven. Når man vil noget i det åbne land, skal man først afmontere rettigheder for landbruget

- Henrik forklarer, at der i 1969 hellere skulle være lavet en land- og naturzone

Kræves der en mere rationel planlægning af det åbne land i fremtiden?

- Henrik mener, at planlægningen i forvejen er rationel, i form af landsplanlægning, kommuneplanlægning og lokalplanlægning, da der angives entydige formål og at der ligger kompetent faglig viden bag planlægningen.
- *“Planlægningen er ikke mekanistisk, men der er meget rationalitet bag den”* (11:07)
- Hvis planlægningen skulle være mere rationaliseret, så skulle den være mere algoritmebaseret
- Der er eksempelvis anvendt algoritmer og GIS til udpegning af, hvor der bør plantes skov
- *“Hvis man gør planlægningen mere rationel, så ignorerer man, efter min mening, at der bor mennesker ude i landskabet”* (11:41)

Kan man i fremtiden inddrage borgere i beslutningstagen så samme vis som man hidtil har kunne?

- *“Nu spørger i mig, og hvis i spørger mine kollegaer, så ville i få et andet svar. I min faggruppe er jeg kendt for at være centralist i forhold til mine kollegaer, som er meget decentralt orrienteret. Jeg vil sige, at der er plantemaer man ikke kan overlade til befolkningen”* (13:20)
- *“Jeg mener ikke, at man ikke skal inddrage befolkningen, men hvis det skal være buttom-up, og man skal have placeret fx biogasanlæg eller motorveje, så vil anlæggene aldrig blive placeret. Der er nogle der bliver nødt til at sætte stregerne på et kort”* (13:48)
- Med oplyst grundlag og omhyggelig analyser må overordnede myndigheder træffe beslutninger om, hvor ting skal ligge
- Ved blød planlægning (fx placering af skov eller gågade) kan man i højere grad inddrage borgerne og inddrage folk i en lokal proces

I hvor høj grad skal man tage hensyn til modstand mod projekter, der etableres i det åbne land?

- Det skal man tage hensyn til, men hensynet kan resultere i forskellige ting
- Hvis man skal opføre vindmøller kan man tage hensyn på forskellig vis, eksempelvis ved slet ikke at opføre vindmøllerne der, eller i stedet give de berørte borgere penge og til sidst kan man i nogle tilfælde vælge at opkøbe folks ejendomme
- Et hensyn kan også være at tilbyde folk en andel i et VE-anlæg

Den idealiserede ‘rene’ form for rationel planlægning har fået meget kritik - men kunne man koble nogle af principperne om transparens, brugen af beslutningsstøtteværktøjer, den videnskabelige tilgang mv. med de tendenser, der er i dag omkring deltagelsesprocesser i planlægning. osv.?

- Hvis man spørger folk, så er der generelt opbakning til, at der etableres solceller, hvortil vi kan udnytte solens energi

- Når solcellerne skal etableres, så kommer der dog følelser på banen for de lokale borgere
- *“Der er mange ting man kan se af fornuften, men som også bliver forstyrret af følelser” (21:03)*
- *“Lige så snart at arbejder med noget borgerinddragende, så slipper rationaliteten, for vi er ikke rationelle væsener.” (21:11)*
- *“Man kan godt lave en algoritme, der virker rationel, men modsat for virkeligheden og mennesker, så vil det vise sig som noget andet. Jeg tror ikke man kan lave en algoritme-baseret-planlægning - for den vil møde modstand når den kommer ud i praksis.” (22:28)*
- *“De samfundsmæssige behov er sommetider vigtigere end de lokale følelser” (23:14)*

Tænker du, at nogle ting skal besluttes på et højere politisk niveau end i dag?

- Hvis man ikke kan lykkes med at få placeret de forskellige anlæg, så bliver man nødt til at træffe beslutningen på et mere overordnet niveau
- I sidste ende vil et landsplandirektiv skulle udpege områder

Hvis man skal kunne opføre de mange VE-anlæg, så har der været snak om man bliver nødt til at lempe på nogle af de arealbegrænsninger, der eksisterer. Hvilke konsekvenser kan det medføre?

- Kommunerne er generelt enige om, hvordan man skal placere VE-anlæg
- Henrik ser ikke det store problem i at placere solcelleanlæg
- Henrik tænker ikke, at man som sådan behøver at lempe på eksisterende arealbegrænsninger, men landbrugspligten skal naturligvis ophæves midlertidigt, fordi anlæggene kommer til at ligge på landbrugsarealer
- Nogle kommuner går ind for at placere solceller på områder, hvor der er sårbare grundvandsområder. Så der er også synergieffekter

Hvilke ønsker for det åbne land tænker du er sværest at imødekomme?

- Henrik tror det bliver svært at få plads til 250.000 ha skov, uden at man kombinere det med noget andet - multifunktionalitet
- Muligvis skal man se ind i en fremtid, hvor må placere vindmøller i skov
- EU's mål om 30% natur bliver også svært at finde i Danmark

30% natur er også højt sat fra EU, når EU samtidig har fastsat mål om at øge fødevareproduktionen

- Hertil skelner Henrik mellem fødevareproduktion og foderproduktion
- Henrik mener ikke at verdenen har en fødevarekrise, men derimod en 'foderkrise'
- Henrik mener det er selvindlysende, at det er for dyrt at føre foder ind gennem dyr først
- Hertil forklarer Henrik, at han selv har levet med begrænset kød i sin dagligdag, netop fordi han ved, hvor belastende det er for klimaet.

Dataoversigt for MCA

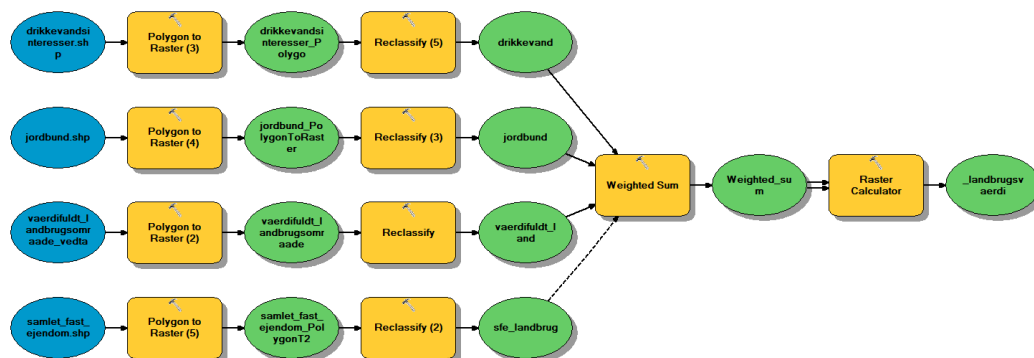
D

Data	Kilde
Matrikulær ejendomsdata	Geodatastyrelsen
Strandbeskyttelse	Geodatastyrelsen
BBR	Vurderingsstyrelsen
Jordbund	Århus Universitet
Potentiel vindenergi	Global Wind Atlas
Potentiel solenergi	Global Solar Atlas
Tekstur2014	Miljøstyrelsen
Drikkevandsinteresser	Miljøstyrelsen
Værdifuldt landbrugsområde	Plandata
Naturbeskyttelsesområde	Plandata
Bevaringsværdige landskaber	Plandata
Lavbundareal vedtaget	Plandata
Økologiske forbindelser	Plandata
High Nature Value	Danmarks Miljøportal
Natura2000	Danmarks Miljøportal
Fredede områder	Danmarks Miljøportal
Beskyttede naturtyper	Danmarks Miljøportal

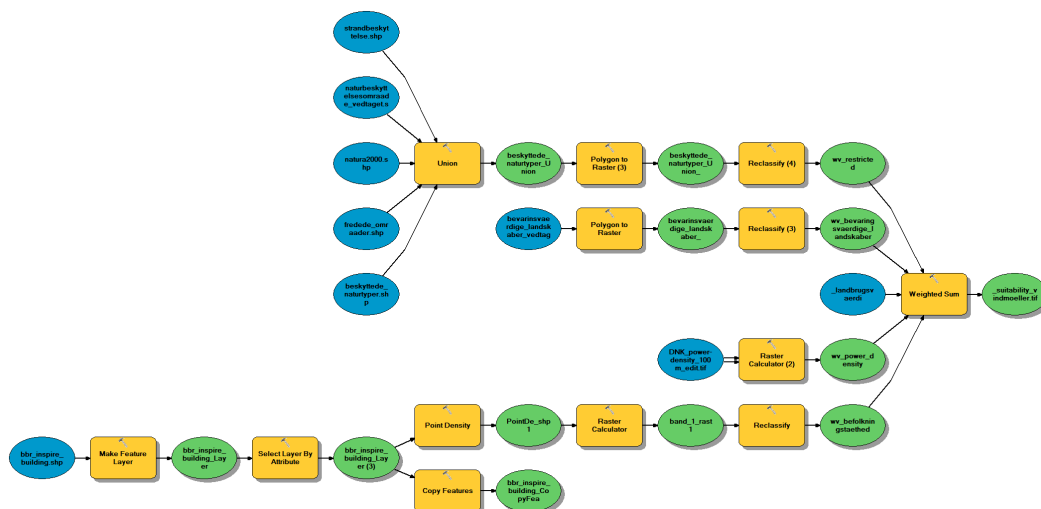
Tabel D.1. Data benyttet i multikriterieanalyserne.

ArcMap ModelBuilders benyttet til MCA

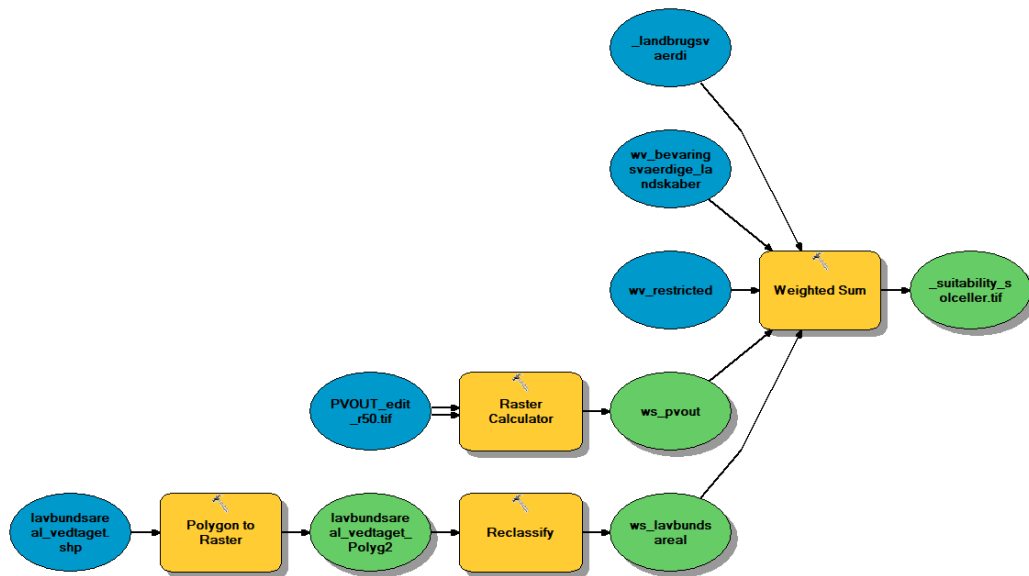
E



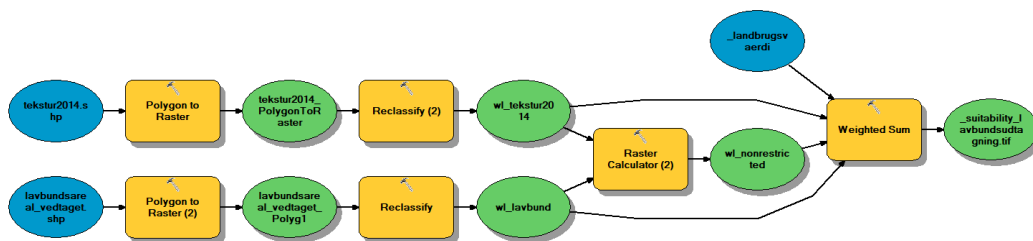
Figur E.1. ArcMap ModelBuilder for dyrkningsværdi.



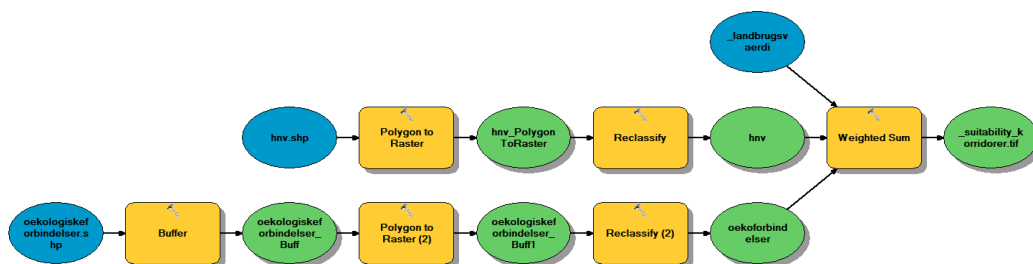
Figur E.2. ArcMap ModelBuilder for Vindmøller.



Figur E.3. ArcMap ModelBuilder for solceller.



Figur E.4. ArcMap ModelBuilder for lavbundsudtagning.



Figur E.5. ArcMap ModelBuilder for grønne korridorer.

Begrebsafklaring af heuristiske metoder, AI og Machine Learning



Formålet med dette bilag er at afklare den indbyrdes sammenhæng mellem begreberne Artificial Intelligence (AI), Machine Learning (ML) og den heuristiske tilgang med afsæt i genetiske algoritmer (GA), der anvendes i dette projekt.

Artificial Intelligence

Artificial Intelligence udgør et flerfagligt felt, der beskæftiger sig med udviklingen af computersystemer, som er i stand til at efterligne menneskelige kognitive funktioner [Agnihotri, 2023]. AI kan ifølge Joiner [2018] defineres som:

"[...] the theory and development of computer systems that are able to perform tasks that normally require human intelligence, such as visual perception, speech recognition, decision-making, and translation between languages. Artificial intelligence makes it possible for machines to learn from experience, adjust to new inputs, and perform human-like tasks."
[Joiner, 2018]

På baggrund af forskelle i funktionalitet kan kunstig intelligens inddeles i fire kategorier [Agnihotri, 2023; Hintze og Cleveland, 2016]:

1. **Reactive machines** udgør den mest basale form for AI, som ikke har en hukommelse og derfor udelukkende opererer på realtidsdata. Denne type af AI-systemer har således ikke kapabilitet til at anvende tidligere erfaringer for at informere og understøtte aktuelle beslutninger. Et eksempel på en reactive machine er IBM's Deep Blue, som er en skakspillende supercomputer, der på baggrund af de givne forudsætninger udpeger det mest optimale skaktræk - uden hensyntagen til tidligere erfaringer fra spillet.
2. **Limited memory** refererer til en type af AI, der har en kortvarig hukommelse og derfor i en vis udstrækning kan lære af tidligere erfaringer. Et eksempel på AI med limited memory er selvkørende biler, der midlertidigt - indtil den pågældende rejse afsluttes - kan gemme og anvende informationer om de øvrige køretøjers hastighed og retning. Selvkørende biler har dog også en form for langtidshukommelse som den bruger til at genkende eksempelvis trafiklys, banemarkeringer og skilte.

3. **Theory of mind** udgør mere avancerede systemer, der har en forståelse af, at andre skabninger har tanker og følelser, der kan påvirke adfærd. Udviklingen af AI er endnu ikke nået helt til dette stadie, men der er igangsat flere forsøg på at udvikle theory of mind AI - eksempelvis med robotten Kismet, som er designet til at kunne genkende og efterligne menneskelige følelser.
4. **Self-awareness**, hvor systemerne har deres egen bevidsthed, er det højeste mål for kunstig intelligens. Forestillingen er således, at maskinerne i dette stadie har deres egen personlighed og er bevidste om deres følelser og overbevisninger. Det er vurderet, at der endnu er lang vej før det er muligt, at skabe denne form for komplekse self-aware AI-systemer.

Machine Learning

Machine Learning er en undergren af kunstig intelligens, som anvender algoritmer, der fokuserer på efterligning af menneskers tilgang til gradvis forbedring gennem læringsprocesser [IBM, 2023]. ML kan ifølge Merriam-Webster [2023] defineres som:

"[...] the process by which a computer is able to improve its own performance (as in analyzing image files) by continuously incorporating new data into an existing statistical model."

Machine Learning, der er baseret på underliggende algoritmer (f.eks. GA) eller matematiske modeller, har således den karakteristika, at der skal tilføres data, som skal bruges til læring. Jo mere data, der er til rådighed og jo højere kvaliteten af denne er, desto bedre bliver algoritmens resultater. ML har dermed en form for hukommelse, som den gør brug af, når der træffes beslutninger. Ifølge Agnihotri [2023] er de fleste nuværende ML-systemer således baseret på limited memory AI, jf. ovenstående kategorisering.

Tilgangen i projektet

I dette projekt bliver ved udviklingen relateret til MOLA taget afsæt i genetiske algoritmer, der hører under kategorien heuristics (se argumentation herfor i afsnit 8.3.1). Heuristics kan ifølge Khan og Mir [2021] defineres som:

"[...] any approach to problem solving or self-discovery that employs a practical method that is not guaranteed to be optimal, perfect, or rational, but is nevertheless sufficient for reaching an immediate, short-term goal or approximation."

Med hensyn til den førmtalte AI-kategorisering kan den udviklede MOLA-algoritme karakteriseres som en reactive machine, da der ikke indgår nogen form for hukommelse i beslutningsprocessen. Algoritmen har altså ikke evnen til at identificere mønstre på baggrund af tidligere erfaringer om, hvilke dårlige løsninger den lavede i sidste generation, eller hvilke succesfulde tendenser den med fordel kan gentage. Den lærer således hverken af sine fejl eller succeser.

Eftersom MOLA-algorithmens løsningsforslag løbende bliver bedre over tid, har den på overfladen mange ligheder med principperne fra ML, der som tidligere nævnt ofte ligger et trin højere i forhold til AI-stadierne (limited memory). Der forekommer dog nogle fundamentale forskelle. Den anvendte genetiske algoritme benytter ikke data til at træne med og den bliver heller ikke klogere hver gang den løser en ny opgave, hvilket jf. definitionen fra tidligere er nogle af nøgleprincipperne for ML. Årsagen til, at løsningsforslagene forbedres når algoritmen eksekverer er i stedet blot, at der er et bedre udgangspunkt efter hver generation, fordi de dårligste individer frasorteres ud fra en prædefineret tilgang til at udregne fitness. Denne udregningsmåde ændrer sig ikke over tid og den bliver ikke bedre informeret efter hver generation. Det vil altså sige, at selvom den genetiske algoritme udfører mange forskellige MOLA optimeringsopgaver, vil den være lige god på den første opgave som den sidste.