

Notat nr.2
Oktober 2021

KLIMANEUTRALT DANSK LANDBRUG

To scenarier der viser vejen til et danske landbrug, der opfylder klimalovens målsætning om en 70% reduktion af drivhusgasudledninger i 2030 og klimaneutralitet i 2050.

Titel: **Klimaneutralt dansk landbrug**

Forfattere: Kenneth Karlsson,
Ida Græsted Jensen,
Alexandra O'Sullivan Freltoft

Institution: Energy Modelling Lab ApS
eml@energymodellinglab.com
<https://energymodellinglab.com/>

Forsidefoto: Alexandra O'Sullivan Freltoft



Indhold

Hovedkonklusioner	4
Indledning: Hvad skal der til?	6
Baggrund: Sådan ligger landet.....	8
Metode: En flowbaseret model	9
Scenarier og resultater	14



Hovedkonklusioner

Landbrugssektoren i Danmark står overfor den grønne omstilling, og der er mange bud i luften på forskellige tiltag, der skal få landbruget på kurs mod klimaneutralitet i 2050. I dette notat opstilles to scenarier i hvilket sektoren når den generelle målsætning om en 70% reduktion i 2030 og 100% i 2050.

Det ene scenarie er teknologi-optimistisk, mens det andet i højere grad kan opnås uafhængigt af teknologisk udvikling. I begge scenarier er en kraftig forøgelse af skovarealet nødvendigt, så skovarealet i 2050 er stort set fordoblet.

I det teknologi-optimistiske scenarie kan vi bibeholde den samme mængde landbrugsdyr som i 2019, fordi teknologier som biogas- og pyrolyseanlæg kan reducere dele af udledningen og den øgede skov kompenserer for resten. I det teknologi-uafhængige scenarie må mængden af landbrugsdyr reduceres med hhv. 15% i 2030 og 30% i 2050 for at opnå klimamålene.

Nøgletallene er:

- 1.000.000 hektar, svarende til 23% af Danmarks areal skal være skov i 2050.
- Opførslen af skov skal ske tidligt, så et sted mellem 160.000 og 200.000 hektar landbrugsjord skal omlægges til skov inden 2030, alt efter teknologioptimismen.
- 100.000 hektar lavbundslande skal udtages til natur inden 2030.
- Samtlige 178.700 hektar lavbundslande skal udtages til natur inden 2050
- I et teknologi-optimistisk scenarie kan man bibeholde samme mængde landbrugsdyr som i dag, hvor udledningerne kompenseres af skovforøgelse og en kraftig opskalering af teknologier som biogas og pyrolyse (biokul).
- I det teknologi-uafhængige scenarie er det nødvendigt at reducere antallet af svin og køer med 15% i 2030 og 30% i 2050, samt udføre en moderat opskalering af de nye teknologier.
- Hvis den kraftige skovforøgelse ikke sker, skal dyreholdet reduceres yderligere.

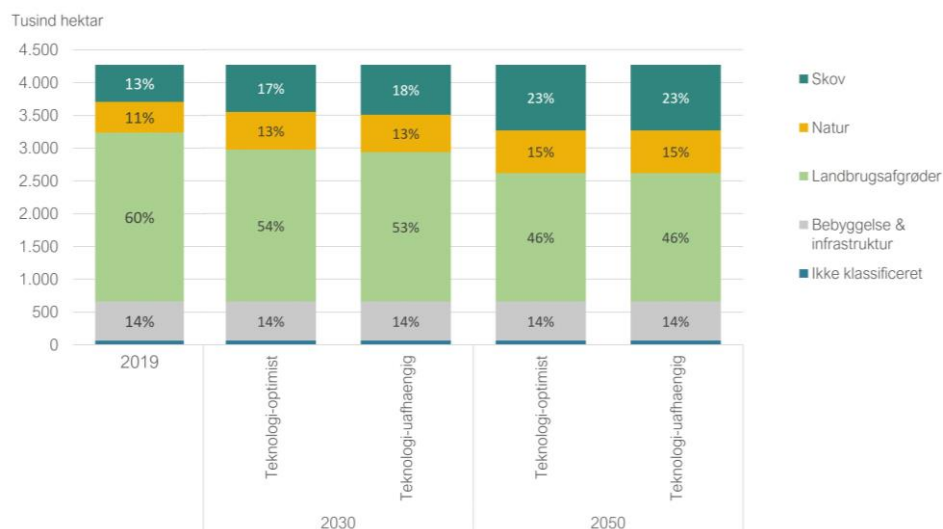


Udledning af drivhusgasser



Figur 2: I begge scenarier reduceres de samlede drivhusgasudledninger fra landbrug og skovbrug til 6 mio. ton CO₂e i 2030 og netto-nul-udledning i 2050. I det teknologioptimistiske scenarie, kompenserer biogas og pyrolyse (biokul) for en del af landbrugsdyrenes udledning, således at optaget fra skov og de nye teknologier kan holde liv i den nuværende animalske produktion. I et mindre teknologioptimistisk scenarie er det nødvendigt at reducere mængden af landbrugsdyr med 15% i 2030 og 30% i 2050.

Danmarks arealfordeling



Figur 1: Landbruget optager den største andel af det danske areal. 80% af landbrugets areal bruges i dag på foder, 10% på plantebaserede fødevarer og 10% på biodiesel, juletræer og andre afgrøder. I begge scenarier reduceres landbrugets areal til fordel for en kraftig forøgelse af CO₂-optagende produktionsskov.



Indledning: Hvad skal der til?

Spørgsmålet er: Hvordan bliver dansk jordbrug klimaneutralt?

Målsætningen med notatet er at vise eksempler på, hvad der skal til, for at jordbruget i Danmark kan blive klimaneutralt uden hjælp fra andre sektorer. I dette notat ser vi på udledning af drivhusgasser fra jordbrug i Danmark, dvs. landbrug, skovbrug og naturområder.

I notatet er der medtaget: alle ikke-energirelaterede drivhusgasemissioner inklusiv kulstofoptag; de såkaldte LULUCF emissioner, der kan henføres til de nævnte områder; samt de tiltag, der kan ændre disse udledninger. Notatet beskæftiger sig udelukkende med drivhusgasemissioner, og der er derfor ikke taget højde for miljø, biodiversitet, partikelforurening og samfundsøkonomiske konsekvenser.

Danmark som grønt foregangsland

Med Klimaloven fik Danmark en målsætning om at være et foregangsland inden for grøn omstilling med en bindende målsætning om, at Danmark skal reducere udledningen af drivhusgasser i 2030 med 70% i forhold til niveauet i 1990, og at Danmark skal være et klimaneutralt samfund i 2050.

Inden for el- og fjernvarmesektoren er Danmark kommet langt og eksporterer knowhow til mange andre lande i verden.

Inden for landbruget er der dog stadig en stor opgave foran os. Derfor er det nødvendigt at se på forskellige omstillingsscenarier inden for landbrugs-sektoren.

Fuld klimaneutralitet uden aflad

Der er både forskningsinstitutioner og organisationer, som har kigget på muligheder for at reducere klimagasser inden for landbruget, men indtil nu ikke nogen, der har opstillet en beregning af, hvordan fuld neutralitet kan opnås uden af købe "aflad", dvs. negative emissioner fra andre sektorer.

To scenarier for et klimaneutralt dansk landbrug

I notatet præsenteres to scenarier. I begge scenarier er følgende målsætninger opfyldt:



1. Drivhusgasreduktion på 70% i 2030 relativt til 1990
2. Netto nuludledning af drivhusgasser i 2050
3. En halvering af foderimporten i 2030 relativt til 2019
4. En komplet udfasning af foderimport i 2050

Scenarierne kan fungere som inspiration til beslutningstagere både politisk og i erhvervet, og en detaljeret gennemgang af scenarierne er beskrevet i afsnittet *Scenarier og resultater*.

Teknologi-optimistisk scenarie

I dette scenarie skrues der op for udbyttet både for afgrøder og halm. Mængden af gylle fra landbrugsdyr, der går til biogas øges betragteligt og det antages at 2,4 mio. ton halm kan komme i pyrolyseanlæg og blive til biokul og bio-brændsler allerede i 2030.

Det danske skovareal øges fra de nuværende 13% af arealet til 17% i 2030 og 23% i 2050, svarende til en million hektar skov. De nye skovtyper skal være en hurtigvoksende blanding af træer. Derudover omlægges 100.000 hektar lavbundslande fra landbrug til natur inden 2030 og alle resterende lavbundslande omlægges til natur inden 2050.

Udtagning af lavbundslande, den store skovforøgelse og reduktionerne, der kommer som følge af en kraftig satsning på nye teknologier, kan ifølge modellen spare og lagre nok drivhusgasser til at kompensere for det nuværende danske dyrehold.

Antagelsen om det øgede afgrødeudbytte gør, at dansk landbrug vil kunne brødføde landbrugsdyrene på sigt uden import af foder. Det betyder dog, at størstedelen af det danske landbrugsareal stadig vil gå til foder frem for afgrøder til humankonsum, så som grøntsager og bælgfrugter.

Teknologi-uafhængigt scenarie

I dette scenarie antages det, at udbyttet fra markerne fortsætter på samme niveau som i dag, og at mængden af gylle, der går til biogas, øges moderat og det antages at 0,5 millioner ton halm kan gå til biokul i 2030 og 1 million ton kan gå til biokul i 2050.

Som i det teknologi-optimistiske scenarie øges det danske skovareal fra de nuværende 13% af arealet til 18% i 2030 og 23% i 2050. Igen må den nye



skov primært bestå af hurtigt-voksende sorter for at opnå den ønskede reduktionseffekt. Derudover omlægges 100.000 hektar lavbundslande fra landbrug til natur inden 2030, og alle resterende lavbundslande omlægges til natur inden 2050.

Med den moderate teknologiudvikling er der brug for yderligere reduktioner i landbruget, hvilket nødvendiggør en reduktion af de danske svin og køer på hhv. 15% i 2030 og 30% i 2050 relativt til 2019.

Denne reduktion i landbrugsdyr muliggør en afvikling af foderimporten samt frigiver landbrugsareal til andre formål. Det kunne for eksempel være afgrøder til humankonsum eller afgrøder til materialer så som bioplast eller energiafgrøder til biobrændsel.

Baggrund: Sådan ligger landet

31% af Danmarks udledninger

Danmarks samlede drivhusgasudledning var i 2019 på 46,5 mio. ton CO₂e, hvoraf 14,5 mio. ton kom fra landbrug, skove og gartnerier, svarende til 31% af landets udledninger. Heraf stammer to tredjedele fra marker, primært gødskning, og det resterende fra husdyrs fordøjelse og gyllehåndteringen i landets stalde. Landbruget forventes i et business-as-usual scenarie, at stå for 46% af de danske udledninger i 2030 fordi udledninger fra de øvrige sektorer forventes at falde hurtigere end landbrugets.¹

60% af Danmarks areal

Landbruget er absolut dominerende i det danske landskab og optager 2,6 mio. hektar, svarende til 60% af Danmarks areal. 80% af markerne bruges i dag på foder, primært til kvæg og svin, mens de resterende landbrugsarealer er fordelt stort set ligeligt mellem afgrøder til fødevarer (10%) og energiafgrøder, juletræer og øvrige (10%).

Øvrige udledninger

Ud over drivhusgasudledningerne forårsager landbruget også en række andre udledninger. 90% af den menneskeskabte kvælstofudledning stammer fra

¹ Klimafremskrivningen 2021, Energistyrelsen

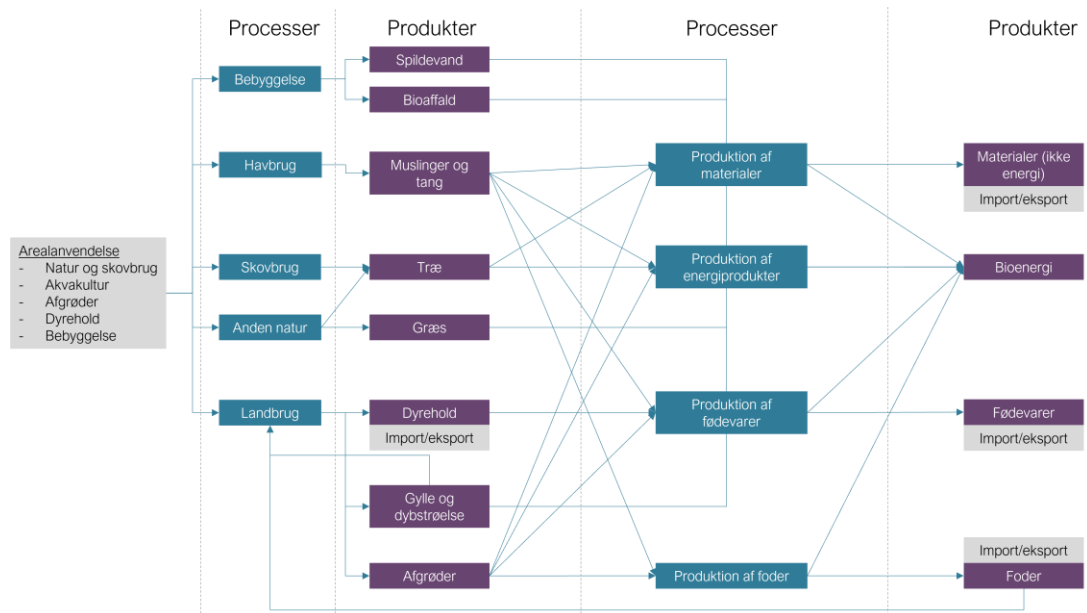


landbruget², med konsekvenser for vandmiljøet og biodiversiteten i de danske farvande. Derudover er landbruget årsag til næsten en tredjedel af helbredsomkostninger fra luftforurening fra danske kilder, svarende til godt 10 mia. kr. om året³.

En grøn omstilling af landbruget kan altså løse flere problemer med udledninger på én gang.

Metode: En flowbaseret model

Til analysen bruger vi Energy Modelling Lab's jordbrugsmodel DK-BioRes⁴ til at simulere, hvordan jordbruget kan omlægges både teknologisk og ift. arealfordeling, landbrugsafgrøder og dyrehold. Dermed kan vi komme med et samlet bud på hvordan landbruget (inkl. skovbrug) kan blive klimaneutralt senest i 2050.



Figur 3 Modellen følger biomassens strømninger hele vejen fra jord og hav til fødevarer, materialer eller energi.

² Landbrugets kvælstofudledning når højeste niveau i mere end et årti, økologi.dk

³ Notat 1, Energy Modelling Lab

⁴ Modellen er udviklet i et projekt for Energistyrelsen og finansieret via Bioenergi Taskforcen.



Modellens opbygning

I DK-BioRes-modellen er der implementeret en lang række teknologier og klimatiltag, som kan justeres for at skabe et scenarie. Alle inputparametre kan justeres både for 2030 og 2050 og modellen har 2019 som basisår.

Blandt parametrene er arealfordeling til hhv. landbrug, skovbrug og natur, landbrugsafgrøder, dyrehold og foder (inkl. foderimport og græsprotein), havbrug, skovbrug, danskernes diæt samt biogas- og pyrolyseproduktion.

Alle biomassestrømme og drivhusgasudledninger følges gennem et netværk af processer og resulterer i en samlet produktion af biomasse (inkl. dyr) fra det danske areal, en samlet drivhusgasudledning samt en balance af produktion og forbrug. (Se Figur 3)

Al baggrundsdata i modellen er samlet fra forskellige forskningsprojekter, inden for landbrug, skovbrug, havbrug og teknologier som bioraffinaderier, biogasanlæg og pyrolyseanlæg. Modellen er et samlet værktøj, hvor viden fra de mange forskningsprojekter er koblet sammen, med det formål at sammenligne konsekvenserne af forskellige virkemidler inden for jordbrug.

Kun drivhusgasudledninger fra sektoren

Det er ikke helt let at være helt konsistent med hvilke reduktioner, der kan tillægges jordbruget, da landbruget f.eks. leverer biobrændsler til transport og energisektoren.

Et godt eksempel på dette er biogasanlæg. Hvis man ser det som et gyllehåndteringsanlæg, der kan nedbringe emissionerne fra gyllen, så giver det mening at give landbruget kredit for de reducerede emissioner. Men et biogasanlæg er samtidig en del af energiforsyningen, da gassen typisk bliver brugt til at producere el- og varme i tilknytning til biogasanlægget. I mange energisystemanalyser tages den reducerede drivhusgasudledning, som følge af forgasning af gyllen med som reduktion i energisektoren. Da biogasanlæggene i høj grad er ejet af landmænd, og gyllen er hovedkilden til energien produceret på anlæggene, har vi valgt, at reduktionerne i udledningen af drivhusgasser ved behandling af gyllen i et biogasanlæg tilskrives landbruget. Derimod tælles den reduktion, der kan komme i energisystemet, ved at biogassen fortrænger fossile kilder, ikke med i landbruget.

Eventuelle reduktioner fra opsætning af solceller og vindmøller tilskrives i vores model ikke landbruget. Elproduktionen i Danmark forventes inden for få år at være fossilfri, og derfor vil el produceret med f.eks. privatejede solceller ikke



antages at udkonkurrere fossil energi og dermed opveje udledninger af drivhusgasser i landbruget.

Følgende drivhusgasemissioner og -optag er taget med i modellen:

- Emissioner fra **dyrkning af landbrugsafgrøder**. Her er taget højde for at forskellige jordbundstyper og afgrøder har forskellige udledninger.
- Emissioner fra **animalsk produktion** af kvæg, svin og fjerkræ. Udledninger fra både fra gyllehåndtering og fordøjelse tæller med i opgørelsen.
- CO₂-optag fra **skovproduktion**. Her tages højde for vækstkurverne fra fem forskellige skovtyper.
- CO₂-optag fra **tang og muslingefarme**.
- CO₂-reduktioner fra produktionen af **biogas** fra animalsk gylle.
- CO₂-reduktioner fra produktionen og nedmuldning af **biokul** fra pyrolyseanlæg.

Balancen mellem produktion og forbrug

I modellen kan man løbende følge balancen i overskud og underskud i forskellige biomasse-produkter fratrukket det danske forbrug. Et underskud vil formegentlig føre til import, mens et overskud som oftest resulterer i eksport.

Import og eksport behøver dog ikke være fra udlandet, men kan blot være import fra andre sektorer. F.eks. kan kunstgødning potentielt produceres med PtX fra dansk vindmøllestrøm og juletræer kan sælges i Danmark.

I modellen er der kun medtaget import til de processer, der er repræsenteret, hvilket f.eks. betyder, at import af foder er med, idet foderet er et input til den animalske produktion, mens biomasse til afbrænding til kraftvarmeværker ikke er repræsenteret, idet det går til energisektoren.

Potentiale til energianvendelse

I takt med at større dele af samfundet omlægges væk fra fossile brændsler kommer der mere og mere rift om biomasse til både materialer – så som bioplast og træ til byggeri – og til energiformål – så som biodiesel eller biomasse til el og varmesektoren.

Som output fra modellen kommer også et biomassepotentiale. Efter al biomasse til fødevarer, foder, materialer mm. er fraregnet, er der et overskud af biomasse til energiforbrug. Der forventes en relativt stor efterspørgsmål på den type produkter i fremtiden.



Valg og fravalg i modellen

En model vil altid være en tilnærmelse til virkeligheden og aldrig en fuldstændig repræsentation. Derfor er der sektorer og teknologier der ikke er at finde i modellen.

Energiforbrug til maskiner, transport og opvarmning er udeladt af modellen

Både udledninger fra anvendelsen af landbrugsmaskiner til markbearbejdning og transport af afgrøder og dyr samt energi til tørring af korn og opvarmning af stalde og drivhuse er ikke talt med i modellen, da disse hører under energikoverterering og derfor er repræsenteret i energisystemmodellerne. Men for en god ordens skyld nævner vi lige energiforbruget i land- og skovbrug samt tilhørende CO₂-udledninger:

Energiforbrug til maskiner og opvarmning fra landbrug, skovbrug og gartneri var i 2019 på 25.269 PJ. Drivhusgasudledningen fra energiforbruget løb op i 1 mio. ton CO₂e, svarende til 6,7% af den sammenlagte drivhusgasudledning.

Partikelforurening fra gødsning er udeladt af modellen

Landbrugets udledning af sundhedsskadelige partikler fra ammoniakken i gødningen står for ca. en tredjedel af alle sundhedsomkostninger i Danmark relateret til luftforurening fra danske kilder. Eftersom forureningen ikke bidrager som en drivhusgas er denne partikelforurening ikke talt med.

Enkelte klimatiltag er udeladt fra modellen

I modellen er udvalgt de teknologier, der vurderes at have den største klimaeffekt, mens andre tiltag er blevet udeladt, enten fordi effekten blev vurderet til at være lav, eller fordi datagrundlaget for effekten ikke var tilstrækkeligt. Blandt de udeladte landbrugstiltag er:

- Effektivisering af gyllehåndtering
- Pløjefri dyrkning
- Ændret fodersammensætning
- Braklægning af marker
- Øget anvendelse af efterafgrøder (hvilket allerede praktiseres i store dele af landbruget)



Miljø, biodiversitet og samfundsøkonomi er udeladt fra modellen

Modellen beskæftiger sig udelukkende med drivhusgasemissioner og biomasse-flow, og der er derfor ikke taget højde for miljø, biodiversitet og samfundsøkonomiske konsekvenser. Scenarierne er altså ikke et udtryk for økonomisk optimerede løsninger, og det er ikke vurderet, hvordan økonomien kan se ud for de forskellige typer land- og skovbrug.

I begge scenarier er der valgt hurtigtvoksende produktionsskov på de nye skovarealer, for at øge kulstofoptaget. Hvis man ønsker en højere hensyntagen til biodiversitet, bør der i stedet prioriteres naturlig tilgroning. Idet naturlig tilgroning optager CO₂ langsommere, vil konsekvensen af et sådant scenarie ville være et større behov for udtagning af landbrugsjord og/eller reduktion af landbrugsdyr.

Lækageeffekt fra landbruget

Modellen forholder sig kun til danske udledninger, men eftersom Danmark befinder sig i en globaliseret verden, giver det også mening at tage et kig på potentielle lækageeffekter fra landbruget.

Lækageeffekten beskriver, hvordan en reduktion ét sted kan føre til udledning andre steder i verden. En lækageeffekt på 100% svarer til, at alle reducerede udledninger, dukker op et andet sted, mens en lækageeffekt på 50% betyder, at halvdelen af reduktionen opstår et andet sted i verden.

De Økonomiske Råd har i 2021 offentliggjort en analyse, hvor landbrugets lækagerate ligger på 35% ved indførslen af en ensartet afgift på drivhusgasser på 1.200 kr. Det skal dog siges, at der altid er meget store usikkerheder forbundet med lækagevurderinger, eftersom lækageraten afhænger af alle andre landes klimamål. Jo flere lande der får bindende klimamål, des lavere bliver lækagen, idet udledningerne har færre steder at flytte hen.



Scenarier og resultater

Et teknologi-optimistisk og et teknologi-uafhængigt scenarie

I scenarierne anvendes udelukkende kendte metoder, teknologier og løsninger, men tempoet i implementeringen varierer mellem de to scenarier.

Men uanset scenarie vil der ske store forandringer i det danske landbrug. De store udledninger af drivhusgasser fra jordbruget stammer fra de organogene jorde (også kaldet lavbundsjarde), fra generel dyrkning af marker og fra husdyrenes maver. Derfor er en kraftig indsats på disse tre områder nødvendig.

En reduktion i det danske landbrugsareal er uundgåeligt

Ved at omlægge alle de organogene jorde til natur spares 3,2 mio. ton CO₂e om året, hvilket svarer til en tredjedel af alle markudledninger fra 2019. Des flere lavbundsjarde der udtages hurtigt desto bedre. I begge scenarierne omlægges 100.000 hektar organogene jorde fra landbrug til natur inden 2030, begyndende med de mest kulstofrige jorde. De resterende 78.730 hektar organogene jorde udtages frem mod 205.

Omlægning af dyrket landbrugsjord til skov giver en netto negativ udledning af drivhusgasser, og er et vigtigt redskab til at nå i mål, siden omlægning både vil reducere udledning fra dyrkning af marker, samt optage drivhusgasser. Derudover vil der fra skovene komme en række træmaterialer fra tømmerproduktion, der kan bruges til andre formål i eksempelvis byggesektoren.

En reduktion af landbrugsdyr er nødvendig i et teknologi-uafhængigt scenarie

36% af landbrugets udledninger kommer fra husdyr, og 80% af landbrugsarealet går til foderproduktion (ud over det importerede foder). Derfor vil det i et energiuafhængigt scenarie være nødvendigt at reducere mængden af husdyr.

Hvis teknologier som biogasanlæg, hvor den potente drivhusgas metan bliver til omdannet til CO₂, der har en svagere drivhusgaseffekt, og biokul hvor kulstof kan bindes og pløjes ned i jorden, bliver rullet ud i stor skala, kan udledningerne fra husdyr kompenseres med en kombination af skov og teknologiske reduktioner.

Derudover kan et øget afgrødeudbytte, samt en ændret fodersammensætning til bl.a. græsprotein, tang og muslinger reducere behovet for foderimport og sikre en dansk produktion af foder på trods af et mindre landbrugsareal.



Sammenligning af scenarier

Mål	TekOpt	TekUaf	TekOpt	TekUaf
	2030		2050	
Samlet reduktion af drivhusgasemissioner (ift. 1990)	70%	70%	100%	100%
Reduktion af foderimport (ift. 2019)	50%	50%	100%	100%

Virkemidler	TekOpt	TekUaf	TekOpt	TekUaf
	2030		2050	
Hektar organogene jorde omlægges fra landbrug til natur (ift. 2019)	100.000	100.000	178.700	178.700
Hektar alm. landbrugsjord omlægges til skov (ift. 2019)	160.000	200.000	440.000	400.000
Andel hurtigtvoksende skovtyper i den nye skov	100%	100%	60%	80%
Reduktion i bestanden af svin og køer (ift. 2019)	0%	15%	0%	30%
Udbyttestigning af halm og afgrøder (ift. 2019)	7%	0%	15%	0%
Halmopsamling af totalt halmudbytte	80%	60%	90%	60%
Andelen af landbrugsarealet der går til foder	73%	68%	78%	67%
Importeret kraftfoder erstattes af	Græsprotein, roer, muslinger, tang og rapskager (overskud fra produktion af rapsolie)			
Andelen af gylle, spildevandsslam og dybstrøelse der går til biogas	75%	50%	90%	75%
Ton halm, der går til biokul i et pyrolyse-anlæg.	2,4 mio.	0,5 mio.	2,6 mio.	1 mio.



Resultater	TekOpt	TekUaf	TekOpt	TekUaf
	2030		2050	
Landbrugets andel af det danske areal (Reference: 60% i 2019)	54%	53%	46%	46%
Naturens andel af det danske areal (Reference: 11% i 2019)	13%	13%	15%	15%
Skovens andel af det danske areal (Reference: 13% i 2019)	17%	18%	23%	23%
Ændringen i behovet for kunstgødning (ift. 2019)	- 6%	+ 40%	- 26%	+ 59%

