

Forudsætninger for KP21-scenarier - Landbrug, jorder og skov

Kontor/afdeling
Systemanalyse

Dato
28-09-2021

J nr. 2021 - 12972

STNI, JLO/ MIS, JMOE

Indhold

Sammenfatning	2
1. Landbrug (ekskl. landbrugsarealer)	4
1.1 CO ₂ e-lækage	5
1.2 Teknologisporet	5
1.3 Diætskifte i Adfærdssporet	8
2. Lavbundsjorder	9
2.1 Fremskrivning af emissioner fra lavbund	10
3. Skov	11
3.1 Skovrejsning ud over baseline	12
4. Arealanvendelse	13
5. Referencer	14
6. Bilag	15
6.1 EU's kødforbrug	16
6.2 Animalske proteiner uden husdyrhold	17

Energistyrelsen

Carsten Niebuhrs Gade 43
1577 København V

T: +45 3392 6700
E: ens@ens.dk

www.ens.dk



Sammenfatning

Dette notat beskriver de forudsætninger omkring landbrug, jorder og skove, som er lagt til grund for scenarierne til Klimaprogrammet 2021 (KP21). Scenarierne illustrerer forskellige veje til opfyldelse af de nationale klimamål i 2030 og 2050. De fire scenarier i Klimaprogrammet, "Elektrificering", "Bioenergi", "CO₂-optag og -lagring" og "Adfærdsændringer", er her i notatet forkortet til "EI", "Bio", "Optag" og "Adfærd". Scenarierne er nærmere beskrevet i baggrundsnotatet "Metodebeskrivelse for KP21-scenarier".

Fokus i nærværende notat er identificering af forskellige teoretiske muligheder for udledningsreduktioner i de forskellige scenarier; opdelt i et teknologispør og et adfærdsspør (se Tabel 1, Figur 1 og Figur 2).

Scenarierne for 2030 er i høj grad baseret på samme materiale, der ligger til grund for regeringens oplæg til grøn omstilling i landbruget og Klimaprogram 2021. Dette indebærer kendte tiltag, der i 2030 forventes at reducere drivhusgasudledningen med 1,8 mio. ton CO₂-ækvivalent (CO_{2e}), samt tiltag der enten kræver demonstration eller både forskning og demonstration på større skala, og som forventes at vil kunne reducere udledningen med yderligere 5 mio. ton CO_{2e} i 2030. Yderligere er der givet et estimat for en mulig effekt af diætskifte på europæisk niveau, hvor ændret forbrug antages at slå igennem som ændret produktion og giver en yderligere reduktion på 7 pct. af landbrugets udledning i 2030.

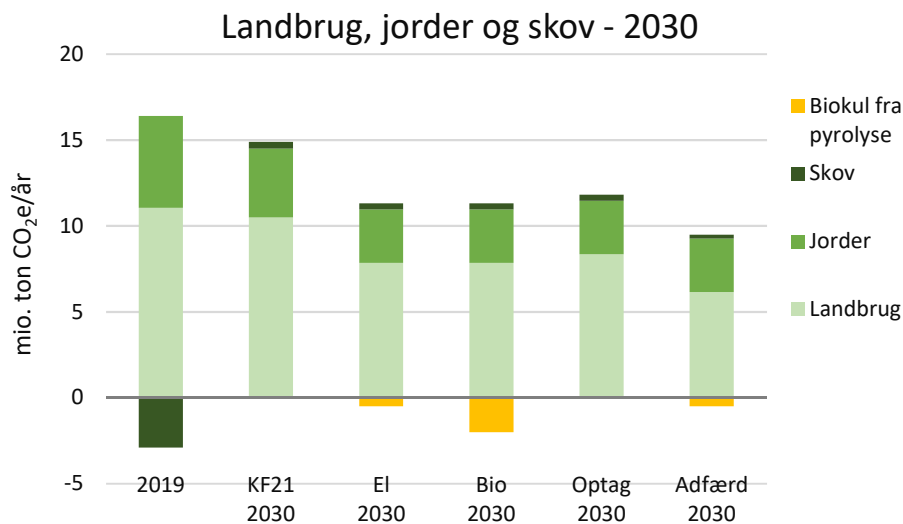
Scenarierne for 2050 er baseret på antagelsen om en gradvis forbedring af de tiltag der kræver forskning frem til 2030, samt en større implementeringsgrad fsa. udtag af lavbundsgrunde og fortsat skovrejsning samt tilvækst af allerede plantet skov. Effekten af diætskifte (kun Adfærdsscenarioet) er her antaget at kunne svare til 44 pct. af landbrugets udledning i 2050.¹

Tabel 1. Oversigt over de forskellige scenariers anvendte reduktionspotentialer.

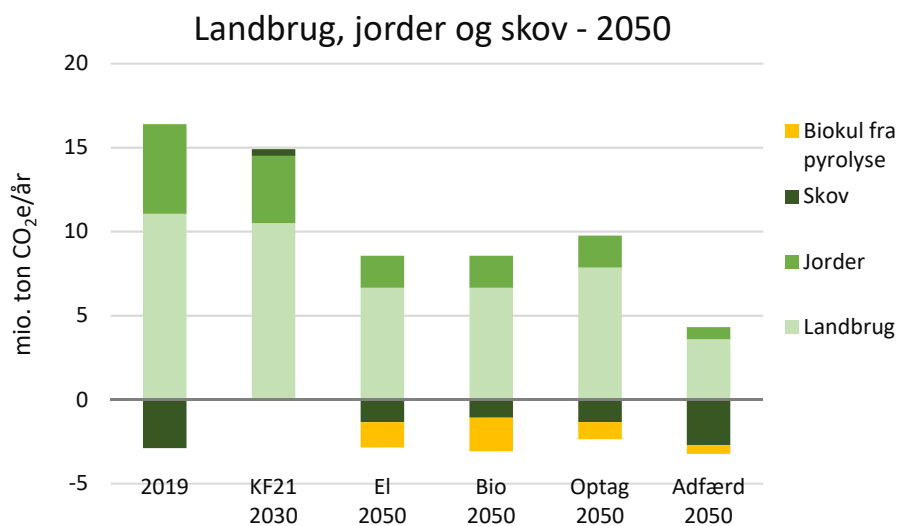
Scenarie	Anvendte reduktionspotentialer
EI	50% af reduktionspotentialer fra teknologispør + 50% øget økologisk areal + udtag af lavbundsgrunde + skovrejsning + moderat pyrolyse
Bio	50% af reduktionspotentialer fra teknologispør + 50% øget økologisk areal + udtag af lavbundsgrunde + skovrejsning + ambitiøs pyrolyse
Optag	50% af reduktionspotentialerne fra teknologispøret + 50% øget økologisk areal + udtag af lavbundsgrunde + skovrejsning + ingen pyrolyse
Adfærd	100% af reduktionspotentialer fra teknologispøret + 100% øget økologisk areal + udtag af lavbundsgrunde + ambitiøs skovrejsning + EU diætskifte + moderat pyrolyse

¹ Reduktioner fra diætskifte er baseret på et gennemsnit fra tre forskellige kilder (Bryngelsson 2016, EU COM 773, Costa 2021).

Opsummering af de samlede udledninger for scenarierne er vist i Figur 1 (2030) og Figur 2 (2050), samt Tabel 2. Udspecificeringen af reduktionsantagelserne kan ses i de respektive afsnit.



Figur 1. Emissionsopgørelse for landbrug, jorder og skov i 2019 og fremskrivning for 2030 fra KF21, sammenstillet med udledninger i 2030 for scenarierne EI, Bio, Optag og Adfærd.



Figur 2. Emissionsopgørelse for landbrug, jorder og skov i 2019 og fremskrivning for 2050 fra KF21, sammenstillet med udledninger i 2050 for scenarierne EI, Bio, Optag og Adfærd.

Tabel 2. Emissionsopgørelse for landbrug, jorder og skov i 2019 og fremskrivning for 2030 fra KF21, sammenstillet med udledninger i 2030 og 2050 for de fire scenarier: EI, Bio, Optag og Adfærd. Pyrolyse er vist som separat række.

mio. ton CO ₂ e./år	KF21		EI		Bio		Optag		Adfærd	
	2019	2030	2030	2050	2030	2050	2030	2050	2030	2050
Landbrug	11,1	10,5	7,8	6,6	7,8	6,6	8,3	7,8	6,1	3,6
Jorde	5,3	4,0	3,1	1,9	3,1	1,9	3,1	1,9	3,1	0,7
Skov	-2,9	0,39	0,35	-1,4	0,36	-1,1	0,35	-1,4	0,24	-2,7
Total ekskl. biokul	13,5	14,9	11,3	7,2	11,3	7,5	11,8	8,4	9,5	1,6
Biokul fra pyrolyse	0,0	0,0	-0,5	-1,5	-2,0	-2,0	0,0	-1,0	-0,5	-0,5

Noter til tabel 2: Der anvendes nye Global Warming Potential (GWP) værdier fra IPCC's 5. vurderingsrapport, i overensstemmelse med klimafremskrivningen. I Optagsscenarioet antages der en effekt fra Direct Air Carbon Capture and Storage (DACCS, eller på dansk indfangning af CO₂ fra atmosfæren, som lagres permanent i undergrunden), hvorfor der forudsættes med færre udledningsreduktioner inden for landbrug.

Som det ses af Tabel 2 og Figur 2 overstiger udledningerne fra landbrug og landbrugsarealer optagene i skov og landbrugsarealer i 2050. For at blive helt drivhusgasneutral er der derfor behov for at andre sektorer leverer yderligere negative udledninger fra fx BECCS (indfangning af CO₂ fra bioenergi og permanent lagring af CO₂'en i undergrunden) og DACCS, hvilket indgår i de samlede scenarier som præsenteres i Klimaprogrammet.

1. Landbrug (ekskl. landbrugsarealer)

Udledninger fra landbruget er primært fra metan (CH₄) og lattergas (N₂O), der stammer fra enterisk fermentation (husdyrenes fordøjelse), samt gødningshåndtering og afgang fra jorder i om drift. Visse typer af behandling af jord giver desuden begrænsede CO₂-udledninger. En oversigt over type af drivhusgas pr. aktivitet er vist i Tabel 3.

Tabel 3. Udledte drivhusgasser for aktiviteter i landbruget i 2019 (mio. ton CO₂e /år) (kilde: DCE, klimafremskrivning 2021).

Aktivitet	Udledning af CH ₄	Udledning af N ₂ O	Udledning af CO ₂	mio. ton CO ₂ e/år 2019
Fordøjelse hos husdyr	X			3,7
Gyllehåndtering	X	X		2,8
Gødning på marker	X	X	X	4,5

Landbrugets udledning er i 2019 opgjort til 11,1 mio. ton CO₂e, fordelt på ca. 6 mio. ton CO₂e fra CH₄, 4,8 mio. ton CO₂e fra N₂O og 0,2 mio. ton CO₂e fra CO₂. Fra 1990 til 2017 er der sket en afkobling af produktion og udledning, hvor landbrugets produktion steg med 35 pct., mens udledningerne faldt med 16 pct. En stor del af reduktionen skyldes kvælstofregulering, der har resulteret i mindsket afgang af



N₂O fra jorder i omdrift. I klimafremskrivningen fra 2021 (KF21) forventes et mindre fald i udledninger fra landbruget, ekskl. LULUCF, til 10,5 mio. ton CO_{2e} i 2030 (DCE 2021, KF21).

1.1 CO_{2e}-lækage

Der er i scenarierne ikke taget hensyn til CO_{2e}-lækage, hvor reduktion af udledninger indenlands kan give øgede udledninger udenlands. De Økonomiske Råd har angivet en forventet størrelsesorden på 35 pct. for landbruget.² Der kan desuden forekomme teknologiske spill-over effekter, hvor en stram klimapolitik i Europa kan smitte af på resten af verden og fremme brugen af klimavenlige produktionsteknologier. Politiske aftaler kan også modvirke lækage, da lande med reduktionsmål fx vil være mindre tilbøjelige til at øge udledning som resultat af reduktioner i DK og/eller EU.

1.2 Teknologisporet

Her angives potentielle udledningsreduktioner, der er afhængige af implementering af teknologi, enten eksisterende eller under udvikling, men hvor landbrugsproduktionen i 2030 og 2050 grundlæggende antages sammenlignelig med nuværende.

I klimaprogrammet og regeringens oplæg til grøn omstilling af landbruget er der angivet reduktioner for kendte virkemidler i 2030 på 1,8 mio. ton CO_{2e}/år for landbruget, inkl. LULUCF.

Udover eksisterende og kendte virkemidler kan der indregnes resultater af udviklings- og forskningsarbejde på længere sigt. Særligt tre områder kan bidrage med markante reduktioner ifølge Klimaprogrammet: Biokul fra pyrolyse (bioraffinering), fodertilsætningsstoffer og gylletilsætningsstoffer. Ud over de tre, er der effekten af forøgelse af det økologiske areal. De tekniske reduktionspotentialer er behæftet med betydelig usikkerhed, opgjort partielt, og der kan være overlap mellem potentialerne. Realisering af de tekniske potentialer vil bl.a. kræve yderligere finansiering, forskning samt udbredelse. Disse tre områder beskrives i de følgende underafsnit.

Biokul fra pyrolyse

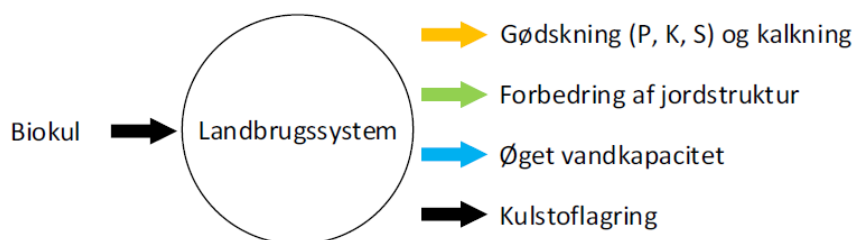
Pyrolyse kan omdanne landbrugets biomasse-rester til biokul og pyrolysegas. Det er i klimaprogrammet angivet som et forsknings- og demonstrationskrævende projekt. Al slags biomasse kan udsættes for pyrolyse, og biokullet kan nedmuldes på marker og have en række positive effekter (hvilket dog endnu ikke er dokumenteret under danske forhold), se Figur 3. Udfordringen er, at udvikle teknologien så produkterne kan anvendes til de ønskede formål, herunder er der usikkerhed om langtidseffekterne med udbringning af biokul. DTU angiver, på baggrund af anvendelse af store mængder halm og gylle, et usikkert potentiale for biokul fra

² <https://dors.dk/oevrige-publikationer/kronikker-artikler/klimalaekage-dansk-landbrug>.



pyrolyse af halm og gylle på 3,9 til 5,2 mio. ton CO₂e/år, og på 7,1 mio. ton CO₂e/år hvis der foretages pyrolyse på hele det danske biomassepotentiale (DTU 2019, appendiks 1, s. 3 Tabel 1). På den baggrund er der i klimaprogrammet angivet et biokulpotentiale på ca. 2 mio. ton CO₂e i 2030.³ Hertil kommer, at pyrolysegas og -olie kan anvendes til energiformål og dermed substituere fossile brændsler.

I EI, Optag og Adfærdsscenerierne antages 0,5 mio. ton CO₂e reduktion fra pyrolyse i 2030, hvilket for EI og Optag stiger til 1,5 mio. ton CO₂e i 2050, mens det for adfærd forbliver 0,5 mio. ton CO₂e i 2050. Det lavere niveau i adfærdssceneriet skyldes at omfattende omlægning af landbruget og skift i arealanvendelse reducerer biomassepotentialet. For Biosceneriet antages der fuld udnyttelse af potentialet på 2 mio. ton CO₂e. Der er generelt stor usikkerhed om potentialet for biokul fra pyrolyse, bl.a. fordi biomasse forventes at blive en knap ressource frem mod 2050. Af samme årsag er reduktioner fra pyrolyse angivet i parenteser i Tabel 4.



Figur 3. Tilførsel af biokul og landbrugets mulige gevinster. Kilde: DTU august 2019, Notat om termisk pyrolyse som virkemiddel til reduktion af landbruges klimaaftryk.

Fodertilsætningsstoffer⁴

Fodertilsætningsstoffer kan reducere metanudledningen fra husdyrenes fordøjelse. Stoffet Bovaer eksisterer allerede, og der er ansøgt om EU godkendelse. Bovaer forventes under danske forhold at kunne reducere metanudledningen fra fordøjelsen med 20-30 pct. Derudover forskes der i stoffet "X", hvor forsøg viser en potentiel reduktion af metan fra kvæg med op til 40 pct. Frem til 2030 anslås reduktionspotentialet for fodertilsætning at være 1 mio. ton CO₂e/år. Det er uvist om reduktionseffekten af øget fedt og tilsætningsstoffer er additiv. Der forventes ikke at være additive effekter ved samtidig anvendelse af fodertilsætningsstoffer. Det er ligeledes uvist om yderligere effekt er opnåelig i tiden mellem 2030 og 2050, men en forventning om generel teknologisk udvikling indregnes i scenarierne som 20 pct. ekstra reduktionspotentiale.

³ Der er her antaget at der sker en ekstra nettolagring ud over den, der ville være sket ved fx nedpløjning af halm, så der vil skulle lagres mere biokul end den mængde biokul der skal til for at lagre 2 mio. ton CO₂. For at lagre mere end 2 mio. ton CO₂ skal der anvendes store mængder biomasse.

⁴ Det forskningsprojekt der henvises til her vedr. stof X, samt øvrige forskningsprojekter bl.a. vedr. cocktaileffekter af fedtfordring og foderadditiver er endnu ikke afrapporteret, og deres resultater kan påvirke grundlaget for de beregninger, der indgår i scenarierne.



Gylletilsætningsstoffer

Gylletilsætningsstoffer, der efter indledende forsøg antages at kunne reducere udledningerne af metan fra stalde og lagre med op til 50 pct., er et forsknings- og demonstrationskrævende udviklingsprojekt. Der er en række andre forskellige virkemidler, der vedrører samme tabspost (metan og lattergas fra gødningshåndtering), herunder bl.a. brug af biofiltre, gylleforsuring og nitrifikationshæmmere (tabspost fra markerne), men det er endnu uvist om teknologierne kan anvendes i samspil og om effekterne i så fald vil være additive eller ej. Det forventes dog, at gyllen kun kan behandles én gang med fuld effekt. Det er fx velkendt at gylleforsuring ikke fungerer optimalt i kombination med bioforgasning. Hvorvidt det samme gør sig gældende for nye metanreducerende tilsætningsstoffer er uvist. Frem til 2030 anslås reduktionspotentialet at være op mod 1 mio. ton CO₂e/år. Det er uvist om yderligere effekt er opnåelig i tiden mellem 2030 og 2050, men en forventning om generel teknologisk udvikling indregnes i scenarierne som 20 pct. ekstra reduktionspotentiale.

Det økologiske areal⁵

Ifølge Landbrugsstyrelsen (LBST, 2021, Statistik over økologiske jordbrugsbedrifter 2020), var der i maj 2020 et samlet økologisk produktionsareal på 310.000 ha, heraf er de 250.000 ha angivet som fuldt omlagt økologisk areal. Klimaprogram 2020 (s. 97) beskriver på baggrund af nye oplysninger (DCA, 2020), at der kan opnås en klimaeffekt på ca. 2 ton CO₂e/år/ha for økologisk omlagte arealer. Dette er i modsætning til en tidligere antaget klimaeffekt på ca. 0,6 ton. I klimaprogrammet er en fordobling det økologiske areal frem mod 2023 medtaget som et væsentligt reduktionspotentiale på 0,5 mio. ton CO₂e/år. Ifølge DCA (2020) er det kun emissioner der finder sted i Danmark, der er indregnet, og ikke importeret foder og handelsgødning. Der er forskel på omlægning fra konventionel til økologisk malkekvæg (reduktion på 3,6 ton CO₂e/ha/år), svineproduktion (reduktion på 3,7 ton CO₂e/ha/år) og planteavl (reduktion på 0,8 ton CO₂e/ha/år). Det gennemsnitlige reduktionstal pr. hektar er baseret på en arealanvendelse, der svarer til nuværende fordeling (tal fra 2020). En stor del af effekten fra omlægning til økologi kommer fra et lavere antal husdyr pr. ha.

For EI-, Bio- og Optagsscenarierne indregnes der 50 pct. forøgelse af det økologiske areal frem til 2030, svarende til 125.000 ha, hvilket giver en reduktion på 0,25 mio. ton CO₂e/år. For Adfærdsscenarioet antages 100 pct. forøgelse, svarende til 250.000 ha og 0,5 mio. ton CO₂e/år.

⁵ Det er værd at nævne, at en udvidelse af det økologiske areal nedsætter potentialet for de førnævnte fodertilsætnings- og gylletilsætningsstoffer, da disse ikke kan anvendes i den økologiske produktion.



Tabel 4. Teknologibaserede reduktionspotentialer.

Teknologiske reduktionspotentialer	2030 reduktionspotentiale (mio. ton CO ₂ e/år)	2050 reduktionspotentiale (mio. ton CO ₂ e/år)
Kollektive virkemidler (våd og mini-vådområder)	0,1	0,1
Målrettet kvælstofregulering	0,55	0,55
Øvrige CAP indsatser	0,2	0,2
Hyppig udslusning i svinestalde	0,17	0,15
Øget andel af fedt i foder til konventionelt kvæg	0,16	0,2
Fordobling af økologisk areal*	0,5	0,5
Pyrolyse*	(2)	(2)
Fodertilsætningsstoffer*	1	1,2
Gylletilsætningsstoffer*	1	1,2

Note: *forsknings og demonstrationsprojekter. Ud over de i tabellen nævnte reduktionspotentialer indgår der også i scenarierne reduktioner fra diætskifte (se afsnit 1.3 og bilaget), udtagning af organiske landbrugsarealer (se afsnit 2) og skovrejsning mm. (se afsnit 3).

1.3 Diætskifte i Adfærdssporet

Reduktioner i landbrugets udledninger pga. ændret adfærd kan ske igennem ændring i kost, med et mindre indtag af kød fra kvæg og svin og et større indtag af plantebaserede fødevarer og kød fra mindre udledningstunge alternativer, fx fjerkræ, opdrættet fisk og potentielt i fremtiden også laboratoriekød. Fx kan sådanne ændringer ske som følge af ændringer i forbrugerpræferencer, evt. inspireret af oplysningsindsatser rettet mod forbrugerne. For at en adfærdsændring hos forbrugerne kan antages at slå igennem som en produktionsændring i landbruget, antages det i scenarierne at ændringerne i kostvaner i så fald også sker på europæisk niveau, da størstedelen af den danske fødevareklynges eksport er til andre europæiske lande. Ifølge Landbrug og Fødevarer (2021) var der i 2020 53 pct. af eksporten, som gik til andre EU lande og yderligere 14 pct. til øvrige europæiske lande. De største enkeltlande var Tyskland, Sverige og Kina. Der er ikke foretaget en vurdering af, hvorvidt et ændret europæisk diætskifte ville føre til øget eksport ud af EU og derved påvirke produktionen modsatrettet.

De i Adfærdsscenarioet anvendte antagelser om reduktioner af udledningerne som følge af adfærdsændringer isoleret set er 7 pct. i 2030 og 44 pct. i 2050. Det vil sige, at 2030 reduktionerne er ca. 1/6 del af 2050 reduktionerne. Da udledningsændringerne er relative ift. produktionens udledning, skal der tages hensyn til teknologibaserede reduktioner først. Dette er dog med undtagelse af pyrolyse, der holdes særskilt.

En reduktion i dyrehold kan desuden reducere biogasproduktionen, da der bliver mindre gylle og strøelse til forgasning.



Tabel 5. Effekten på landbrugets udledninger af EU diætskifte, omregnet fra pct. til mio. ton CO₂e/år.

Mio. ton CO ₂ e/år	Reduktionspotentiale, 2030	Reduktionspotentiale, 2050
EU diætskifte	0,5	3,1

Reduktionerne fra adfærdsændringer er baseret på gennemsnittet fra tre forskellige studier, herunder:

- "Scenarie 5" fra EU COM 773 med europæisk fokus (25 pct.)
- "Climate Carnivour" diæten fra Bryngelsson et al. 2016 med svensk fokus (53 pct.)
- "Life" scenariet fra Costa et al. 2021 med europæisk fokus (53 pct.)

De tre studier er beskrevet i korte træk nedenfor i afsnittet om EU's kødforbrug i bilaget. Da der ikke er konsensus om laboratoriekød i litteraturen, antages det her, at laboratoriekød med tiden vil blive mere klimavenligt end kød fra kvæg og svin, men på niveau med eller dårligere end kylling og opdrættet fisk (Smetana 2015). Derved kan et fremtidigt forbrug af laboratoriekød anses for allerede at være indeholdt i fx "climate carnivour" diæten, som en af substitutterne for kød fra kødkvæg (Bryngelsson, 2016).

For yderligere information om diætskifte i adfærdssporet henvises til bilaget i afsnit 6 efter litteraturlisten.

2. Lavbundsjorder

Kulstofrige lavbundsjorder er dannet under vandlidende, iltfattige forhold, hvor organisk materiale nedbrydes langsomt. Hvis jorderne udtørres og iltes ved dræning og pløjning, vil kulstoffet gase af, primært som CO₂. Ifølge data fra DCA (tekstur2014) findes der lidt over 291.000 ha jorder med over 6 pct. kulstof. Heraf er 171.000 ha i anvendelse til landbrug (se Tabel 6). I KF21 (Bilag 5, DCE 2021) er udledningerne i 2019 fra dyrkede marker og græsarealer på kulstofrige jorder angivet til 4,8 mio. ton CO₂e/år.

Tabel 6. Areal (ha) af kulstofrige jorder fordelt efter kulstofprocent og landbrug. Kilde: Kombination af DCA tekstur2014 og LBST Marker 2019.

Arealer	Ha (ca.)
Kulstofrige jorder i alt	291.000
Jorder med kulstofindhold > 12 %, alle	129.000
Jorder med kulstofindhold 6 - 12 %, alle	162.000
Jorder med kulstofindhold > 12 %, landbrug	73.000
Jorder med kulstofindhold 6 - 12 %, landbrug	98.000



Forskellige kilder opgiver forskellige reduktionspotentialer, som beror på bagvedliggende antagelser, hvor minimumsvurderingen kommer fra Klimaprogram 2020 (KEFM, 2020) og en maksimumsvurdering kan findes i bl.a. materiale fra Klimarådet (Klimarådet, 2020). I Klimaprogrammet baseres skønnet på en vurdering af, hvor meget af det kulstofholdige areal i omdrift eller anvendt til permanent græs, det med den nuværende viden om arealerne, i praksis er muligt at udtage aktivt, dvs. hel eller delvis oversvømmelse og derved tilbageføring til iltfattige forhold. Reduktionseffekter per areal er baseret på praktiske erfaringer fra eksisterende ordninger og er relativt konservativ. Det skyldes bl.a. den erfaring, at ikke alle arealer, der udtages, er fuldt drænede. Omvendt angiver Klimarådet at det tekniske potentiale er lig med hele arealet for både omdrift og permanent græs. Her forudsættes det ydermere, at alle arealerne er fuldt drænede samt at vandstanden kan hæves fuldt ud. Antagelserne er baseret på den metode, Dansk Center for Energi og Miljø (DCE) anvender i den nationale emissionsopgørelse til FN, hvilket også anvendes i Energistyrelsens årlige klimastatus og -fremskrivning. Denne metode indebærer, at der ved udtagning forudsættes en større reduktion af drivhusgasudledningen end det estimat, der anvendes i Klimaprogrammet.

Opgørelsen i Klimaprogrammet baserer sig således på praktiske erfaringer og kendskab til en række barrierer, herunder:

- Arealer der, selvom de fremgår som landbrugsarealer, er afsat til skovrejsning og rekreative områder.
- Små, ikke-sammenhængende områder, der er dyre at udtage ift. større sammenhængende arealer.
- Områder der allerede er helt eller delvist vandlidende.
- Barrierer for udtagning (risiko for fosfortab, negative randeffekter på tilstødende arealer mv.)

For at udtage kulstofrige jorder er det i praksis nødvendigt at udtage tilstødende arealer i et varierende omfang, der ikke er vurderet som kulstofrige i nuværende datakilder. Dermed vurderes det, at der skal udtages 50.500 ha landbrugsjord for at udtage de 38.000 ha kulstofrige jorder, der er angivet som potentialet. Det samlede danske areal af dyrkede marker og græsarealer udgør ca. 3 mio. hektar.

2.1 Fremskrivning af emissioner fra lavbund

Klimarådet beskriver i sin publikation *Kulstofrige lavbundsgrønt* mange af de samme problemstillinger som ovenfor, bl.a. baseret på materiale fra MFVM og LBST. Alligevel angives et teknisk potentiale, der svarer til det samlede areal med kulstofrige landbrugsområder, som beregnet på baggrund af DCA's modellerede datasæt "tekstur2014" sammenkørt med Basemap (dvs. LBST markkortet). Det bemærkes, at tekstur 2014 er behæftet med usikkerheder, og at der er igangsat projekter for at forbedre såvel emissionsfaktorerne som selve kortlægningen.



Ifølge regeringens oplæg til grøn omstilling af landbruget er det samlede reduktionspotentiale for lavbundsjord i 2030 på 0,9 mio. ton CO₂e. Det fordeler sig på 0,1 mio. ton CO₂e fra ekstensivering, 0,3 mio. ton CO₂e fra aktiv udtagning og 0,5 mio. ton CO₂e fra et udvidet teknisk potentiale. Derudover følger indsatserne med finanslov 2020 og 2021, som samlet giver en effekt på ca. 0,3 mio. ton CO₂e i 2030.

Det samlede tekniske reduktionspotentiale i 2050 kan sættes til udtagning af (eller reduktion af udledningen fra⁶) 136.000 ha, svarende til 80 pct. af det kulstofrige landbrugsareal i dag. For 2030 følger alle scenarier målet om 0,9 mio. ton CO₂e, mens der for 2050 antages et moderat ambitionsniveau for EI, Bio og Optagsscenerierne (2,1 mio. ton CO₂e), og et ambitiøst niveau for Adfærdssceneriet (3,3 mio. ton CO₂e).

3. Skov

Opgørelse og fremskrivninger af udledninger og optag fra skov i Danmark leveres af Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning (IGN) ved Københavns Universitet. Der er to mulige kilder: 1) National Forest Accounting Plan (NFAP) fra 2019 (IGN 2019), og 2) Klimafremskrivningen 2021 – LULUCF og skov. Selvom kilderne er baseret på samme materiale, er der dog ikke fuldstændig overensstemmelse mellem værdierne fundet i NFAP fra 2019 og materialet leveret til KF21, hvilket skyldes et beregningsmæssigt metodeskift, der gør det udfordrende at anvende den nuværende NFAP. Dog er der ikke i KF21 fremskrevet til 2050, men kun til 2040. Derfor anvendes her tal fra NFAP for 2050.

Ifølge KF21 optog danske skove og puljen af træprodukter (HWP) samlet set netto 2,9 mio. ton CO₂e i 2019. Bl.a. på grund af træernes aldersfordeling i skovene og forventede fældningsrater for ældre hugstmodne træer forventes dette nettooptag vendt til en nettoudledning på 0,4 mio. ton CO₂e i 2030. Men i 2050 forventes skovene igen netto at optage CO₂, svarende til ca. 0,8 mio. ton CO₂e. Denne fremskrivning er bl.a. baseret på en antagelse om, at der frem til 2050 årligt etableres 1.900 ha nye skovarealer årligt.

Tabel 7. Opgørelse og fremskrivning af udledninger og optag fra skove og HWP i Danmark. Kilde: KF21 (DCE & IGN 2021) og NFAP 2019 (IGN 2019).

mio. ton CO₂e/år (negativ = optag)	2019	2030	2050
Skov	-2,9	0,4	-0,8

⁶ En del af de organiske arealer vil formentlig ikke indeholde så meget kulstof længere i 2050, såfremt arealerne dyrkes indtil da, hvormed jordens kulstof vil blive udledt som CO₂ inden 2050. En del af reduktionen i 2050 kan derfor skyldes, at arealerne ikke længere udleder CO₂, hvorfor ikke hele reduktionen nødvendigvis skyldes udtag og vådgøring af arealer. Det kan bemærkes, at der ikke til KF21 er foretaget en analyse af den forventede udvikling i arealernes kulstofindhold frem mod 2050 under antagelse om fortsat dyrkning og dræning.



Det bemærkes, at der er stor usikkerhed forbundet med at fremskrive de årlige optag og udledninger fra skove og puljen af træprodukter. Der er igangsat et arbejde med henblik på at få udarbejdet en opdateret skovfremskrivning til brug for KF22, som tager udgangspunkt i skovens aktuelle situation samt indregner de politiske tiltag, der er vedtaget (frozen policy).

3.1 Skovrejsning ud over baseline

Som gennemsnitsbetragtning optager skov begrænsede mængder CO₂ de første 10-20 år, hvorfor skovrejsning er mere interessant i et længere tidsperspektiv (IGN, 2019, Kulstofbinding ved skovrejsning). Ud over den i NFAP'en indregnede baseline antagelse om 1.900 ha skovrejsning pr. år, kan der tænkes at blive foretaget en mere ambitiøs skovrejsning (omlægning fra landbrugsareal til skovareal) fx som følge af politisk vedtagne støtteordninger eller andre ændrede rammevilkår.

F.eks. nævner WRI's rapport fra 2021 "A Pathway to Carbon Neutral Agriculture in Denmark" et mål om 310.000 ha skovrejsning frem mod 2050, hvilket dog ville kræve en meget kraftig forøgelse af skovrejsningstakten i Danmark til over 11.000 hektar årligt. Derudover har der i forskellige sammenhænge tidligere været udstukket langsigtede mål for dansk skovrejsning. I dag dækker skov ca. 14,5 pct. af Danmark areal. Hvis skovarealet fx skulle øges til 22,5 pct. i år 2100 ville en lineær indfasning indebære etablering af ca. 4.600 ha skov årligt. Dette ville ligeledes indebære en kraftig forøgelse af den nuværende takt for skovrejsning i Danmark.

Tages der hensyn til initialtab (tab af kulstof fra afgrøder på mark) og en gradvis indfasning af de ovennævnte skovrejsningstakter kan klimaeffekten af skovrejsning estimeres som vist i Tabel 8. I 2050 vil skovens årlige optag stige med op til ca. 1,9 mio. ton CO_{2e} i det mest ekstreme scenarie. Optaget er her beregnet ud fra nogle antagelser om en blanding af gennemsnitlig (70 pct.) og hurtigvoksende træarter (30 pct.) og det bemærkes, at der kan være forskel på CO₂-optaget afhængigt af hvilke trætyper, der plantes. En alternativ beregning med antagelse om 100 pct. brug af gennemsnitlige træarter peger dog, med den anvendte regnemetode, kun på mindre forskelle i optaget i skovens kulstofpulje i 2050 (bl.a. fordi hurtigt voksende træarter også antaget fældet hurtigere end langsomt voksende træer). Det skal understreges, at der ikke er foretaget en analyse af, hvorvidt det overhovedet vil være muligt at øge skovrejsningstakten så drastisk som illustreret. Der er derfor blot tale om simple, teoretiske regneeksempler, der kan eksemplificere mulige effekter af skovrejsning som klimatiltag, når man ser på udviklingen i skovens kulstofpulje isoleret set og ser bort fra skovens bidrag til bioenergi (fx træflis) og høstede træprodukter (fx byggematerialer) fra de træer, der fældes i skoven. Historisk har skovrejsning vist sig at være et effektivt klimatiltag. Ifølge KF21 er der siden 1990 etableret ca. 92.000 hektar nye skovarealer og disse arealer vurderes i dag at optage ca. 1 mio. ton CO₂ årligt.



Tabel 8. Teoretiske potentialer for CO₂ optag ved yderligere skovrejsning udover baseline på 1900 ha skovrejsning pr. år.

	Skovrejsning udover baseline (ha/år)	Optag 2030 (mio. ton CO ₂ /år)	Optag 2050 (mio. ton CO _{2e} /år)
22,5% skov i 2100	2.700	0,04	0,6
310.000 ha skovrejsning til 2050	9.400	0,13	1,9

For EI- og Optagsscenarierne antages skovrejsning svarende til 2.700 ha/år ekstra ift. baseline. For Bioscenariet antages 50 pct. af reduktionen fra EI- og Optagsscenariet. I Adfærdsscenarioet antages en meget ambitiøs skovrejsning svarende til 9.400 ha/år ekstra ift. baseline.

4. Arealanvendelse

Skal der rejses skov eller udtages lavbundsjord, så bliver det samlede areal, der kan anvendes af landbruget til andre formål, mindre. Et estimat af areal pr. afgrødegruppe i 2019, samt det samlede dyrkede landbrugsareal, er vist i Tabel 9. Data er aggregeret ved sammenkørsel af afgrødetabellen 2021 (LBST 2021) og Internet Mark Kort 2019 (LBST 2021).

Antages der skovrejsning på 310.000 ha frem til 2050, som anbefalet i WRI (2021), samt udtagning af lavbundsjord, svarende til ca. 80 pct. (136.000 ha) af arealet af kulstofrige jorder i omdrift eller som permanent græs (se Tabel 5), så svarer det til at landbrugets dyrkede areal reduceres med ca. 446.000 ha. Det betyder at udtagningen af lavbundsjord og skovrejsning kræver en stor effektivisering af landbruget, hvis produktionen skal bibeholdes uden at øge importen af dyrefoder. En samtidig stor omlægning til økologi vil bidrage til en yderligere udfordring for den konventionelle sektors evne til at bibeholde det nuværende produktionsniveau. Ud fra en betragtning om øget fødevarerproduktion kan en omlægning fra animalsk til vegetabilsk produktion øge fødevarerudbuddet både økologisk og konventionelt.

I "A Pathway to Carbon Neutral Agriculture in Denmark" (WRI 2021) argumenteres der for, at øget arealanvendelseseffektivitet fra mere effektiv udnyttelse af foder, stigende afgrødeudbytter, vellykket implementering af bioraffinering, reduktion af det braklagte areal og en omlægning af noget areal fra dyrkning af kornprodukter til dyrkning af rodfrugter, sammenlagt kan frigive 450.000 ha. Derudover mindskes landbrugsarealet gradvist en smule hvert år pga. af bebyggelse og infrastruktur.



Tabel 9. Arealer for afgrødegrupper. Baseret på data fra LBST og Afgrødetabel 2021 (ha, ca.).

Afgrødegruppe	Areal, 2019 (ha)
Vintersæd til modenhed	812.000
Vårsæd til modenhed	561.000
Græsmarksplanter, omdrift	264.000
Helsæd, vår	211.000
Oliefrø og Bælgsæd	188.000
Græs, permanent	174.000
Frøgræs	109.000
Arealer med tilsagn under miljøordningerne	68.000
Kartofler	52.000
Særlige afgrødekoder i forbindelse med tilsagn eller miljøtiltag	45.000
Udyrkede arealer, vildtagre o.l.	37.000
Trækulturer	37.000
Korn, grønkorn	30.000
Rodfrugter til fabrik	29.000
Grøntsager, friland	13.000
Andet (sum af grupper under 10.000 ha)	28.000
<i>I alt</i>	<i>2.660.000</i>

5. Referencer

1. KEFM 2020, Klimaprogram 2020.
2. KEFM 2021, klimaprogram 2021.
3. Bryngelsson, D. et al., 2016, How can the EU climate targets be met? A combined analysis of technological and demand-side changes in food and agriculture.
4. EU COM 773, 2018, A Clean Planet for all, A European long-term strategic vision for a prosperous, modern, competitive and climate neutral economy (4.6.2 Reducing non-CO2 GHG emissions in Agriculture s. 159 til 167).
5. Costa, L. et al., 2021, The decarbonisation of Europe powered by lifestyle changes.
6. Klimafremskrivningen 2021, <https://ens.dk/service/fremskrivninger-analyser-modeller/klimastatus-og-fremskrivning>.
7. De Økonomiske Råd, <https://dors.dk/oevrige-publikationer/kronikker-artikler/klimalaekage-dansk-landbrug>.
8. DTU Kemiteknik, 2019, Reduktion af landbrugets klimaaftryk ved hjælp af pyrolyse, Gadsbøll, R.Ø. et al., Appendiks 1 – Klimapotentiale for biokul.
9. LBST 2021, Statistik over økologiske jordbrugsbedrifter 2020, Autorisation og produktion. <https://lbst.dk/tvaergaaende/okologi/baggrund-og-fakta-om-okologi/tal-og-fakta-om-okologi/okologistatistik/>.
10. DCA, 2020, Levering på bestilling "Estimering af national klimaeffekt for omlægning til økologisk jordbrug", Følgebrev 4. sep. 2020 til Landbrugsstyrelsen.



https://pure.au.dk/portal/files/196779902/Klimaeffekt_ved_oml_gning_til_ko_jordbrug_04092020.pdf.

11. Landbrug og Fødevarer (LF), 2021, Fakta om Fødevarer 2020.
12. Smetana et al., 2015, Meat alternatives: life cycle assessment of most known meat substitutes, International Journal of Life Cycle Assessment 20, pp. 1254-1267.
13. FAO 2011, World livestock 2011 - Livestock in food security, Food and Agriculture Organization of the United Nations. Tabel 16, s. 79. <http://www.fao.org/3/i2373e/i2373e.pdf>.
14. FAO 2020, OECD-FAO Agricultural Outlook 2020-2029 <https://www.oecd-ilibrary.org/sites/29248f46-en/index.html?itemId=/content/component/29248f46-en#section-d1e18769>
15. European Environment Agency, 2020, Artificial meat and the environment
16. RethinkX, Food and Agriculture Report, 2019
17. Tuomisto H. & de Mattos, M.J.T., 2011, Environmental impacts of cultured meat production.
18. Hocquette, J.-F., 2016, Is in vitro meat the solution for the future?
19. Muraille, E., 2019, indlæg i The Conversation: "Cultured" meat could create more problems than it solves. <https://theconversation.com/cultured-meat-could-create-more-problems-than-it-solves-127702>.
20. The Guardian, 2020, Food in 2050: bacon grown on blades of grass and bioreactor chicken nuggets. <https://www.theguardian.com/food/2020/jan/01/food-in-2050-bacon-grown-on-blades-of-grass-and-bioreactor-chicken-nuggets>.
21. Klimarådet, Kulstofrige lavbundsgrunde, 2020. <https://klimaraadet.dk/>
22. IGN 2019, Danish National Forest Accounting Plan 2021-2030 (NFAP 2019).
23. World Resource Institute, 2021, A Pathway to Carbon Neutral Agriculture in Denmark.
24. IGN, Johannsen, V. K et. al., 2019, Kulstofbinding ved skovrejsning. Sagsnotat.

6. Bilag

Yderligere information om diætændringer i Adfærdssporet, baggrundsmateriale

Der er tre forskellige faktorer, der spiller ind på landbrugets fremtidige udledninger, der er relevante i forhold til effekten af adfærdændringer:

1. Øget sundheds- og klimabevidsthed fører til omlægning til mere klimavenlige diæter, med generelt reduceret forbrug af kød og fravalg af særligt kød fra kvæg, mælkeprodukter og raffineret sukker, og tilvalg af plantebaserede alternativer. Insekter hører også til her. Resultatet kan være en gradvis ændring af fødevarerindustrien over årtier pga. de skiftende forbrugsvaner (EU COM 773).
2. Nye produktionsmetoder til frembringelse af animalske proteiner, der ikke kræver husdyrhold. I 2013 blev den første hamburgerbøf af laboratoriekød præsenteret, stegt og spist. Så det er allerede i dag muligt at producere såkaldt laboratoriekød uden husdyrhold, men ikke konkurrencedygtigt. Med

tiden er det muligt, at laboratorieprodukter kan konkurrere med konventionelt dyrehold.

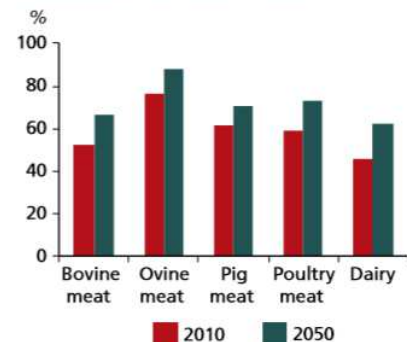
3. Stigende velfærd i udviklingslande skaber øget efterspørgsel på luksusfødevarer, herunder kød. Dette kvantificeres f.eks. i FAO's lidt ældre fremskrivning (FAO, 2011), hvor det globale forbrug af kød forventes at stige med 73 pct. frem til 2050 (se Figur 4). Ifølge Agricultural Outlook 2020-2029 (FAO 2020, kap. 6, Meat) forventes europæisk og nordamerikansk kødforbrug dog at stagnere. FAO (2020) angiver også, at over 80 pct. af den globale stigning i kødproduktion vil ske i udviklingslandene. Det er dermed usikkert hvordan et stigende globalt kødforbrug, drevet af lande uden for EU, vil afspejles i dansk kødproduktion.

TABLE 16

PROJECTED TOTAL CONSUMPTION OF MEAT AND DAIRY PRODUCTS

	2010	2020	2030	2050	2050/2010
	<i>(million tonnes)</i>				
WORLD					
All meat	268.7	319.3	380.8	463.8	173%
Bovine meat	67.3	77.3	88.9	106.3	158%
Ovine meat	13.2	15.7	18.5	23.5	178%
Pig meat	102.3	115.3	129.9	140.7	137%
Poultry meat	85.9	111.0	143.5	193.3	225%
Dairy not butter	657.3	755.4	868.1	1 038.4	158%
DEVELOPING COUNTRIES					
All meat	158.3	200.8	256.1	330.4	209%
Bovine meat	35.1	43.6	54.2	70.2	200%
Ovine meat	10.1	12.5	15.6	20.6	204%
Pig meat	62.8	74.3	88.0	99.2	158%
Poultry meat	50.4	70.4	98.3	140.4	279%
Dairy not butter	296.2	379.2	485.3	640.9	216%

PERCENT OF TOTAL CONSUMPTION IN DEVELOPING COUNTRIES



Source: FAO, 2006c. Some calculations by authors.
Note these figures are based on World Population Prospects: The 2002 Revision.

Figur 4. Fremskrivning af verdens kødforbrug frem til 2050. Kilde: FAO 2011, World livestock 2011 - Livestock in food security, Food and Agriculture Organization of the United Nations. Tabel 16, s. 79. <http://www.fao.org/3/i2373e/i2373e.pdf>.

6.1 EU's kødforbrug

EU's kødforbrug pr. indbygger har været nogenlunde stabilt siden 1990'erne med ca. 80 – 85 kg/person/år, hvoraf svinekød udgør størstedelen (EU 2018, COM 773, afsnit 4.6.2.3). Der er desuden sket en relativ reduktion i forbruget af oksekød (31 pct.) og en tilsvarende stigning i forbruget af fjerkræ (37 pct.) i perioden. I EU (2018, COM



773 s. 165) angives en baseline og 5 scenarier, der beskriver gradvise skift mod diæter med færre kalorier fra animalske produkter. Baseline angiver et stabilt/svagt stigende forbrug af animalske produkter, mens scenarierne 1 til 5 beskriver forskellige niveauer af faldende forbrug, målt i kalorieindtag, frem til år 2070. Scenarie 5 er, ifølge publikationen, i tråd med anbefalinger i en række forskningsprojekter, der har fokus på mere klimavenligt fødevarerforbrug og reduktion af madspild. Scenariet beskriver et forløb med gennemsnitsindtag på ca. 1.000 animalske kalorier pr. person pr. dag i 1990 (historiske tal), til ca. 850 i 2020, 780 i 2030 og 610 i 2050. Effekten af en sådan kostomlægning estimeres til at give en reduktion af landbrugssektorens udledninger på 25 pct. Det er dog under den antagelse, at det mindskede forbrug af animalske produkter kan overføres direkte til produktion i EU, og ikke afføder øget eksport af animalske produkter til resten af verden. Til sammenligning har et svensk studie (Brynelsson, D. et al. 2016) vist, at der opnås større udledningsreduktion ved at erstatte alt forbrug af kød fra kødkvæg med fjerkræ, uden reduktion i samlet mængde, end med en halvering af den eksisterende forbrugsmængde, hvor samme proportioner bibeholdes af kvæg, svin og fjerkræ. I studiet angives nuværende udledning fra fødevarerforbrug at være ca. 1.800 kg CO₂e/person/år, der i et baseline scenarie kan stige til 2.400 kg CO₂e/person/år. i 2050 (heraf 1.700 kg CO₂e/person/år fra CH₄ og N₂O), såfremt der ikke implementeres nævneværdige teknologiske ændringer, og kødforbruget fortsætter med at stige. Antages der en moderat eller optimistisk teknologisk udledningsreduktion sammen med de to (ud af fem) mest udledningsreducerende diæter, kaldet "climate carnivour" og "vegan", vil reduktioner på 70 til 90 pct. være mulige i 2050. Ses der udelukkende på effekten af omlægning af diæt estimeres reduktionerne til 53 pct. og 72 pct. for henholdsvis "climate carnivour" og "vegan". Til sammenligning vil en halvering af kødforbruget ("less meat" diæt) i 2050 give en reduktion på 15 pct. ift. baseline scenariet. De teknologiske reduktioner, der omtales i studiet, er fodertilsætningsstoffer, gylle- og gødnings håndtering samt nitrifikationshæmmere. Dermed er det i vid udstrækning de samme tiltag som nævnes i teknologisporet for landbrug, med undtagelse af biokul fra pyrolyse.

6.2 Animalske proteiner uden husdyrhold

Første bølge af erstatningsprodukter for kød var plantebaserede og søgte at efterligne tekstur og smag af kødprodukter. Typisk baseret på soyaprodukter, grøntsager, hvede, svampe og lignende. Denne type produkter har været en del af vegetariske og veganske diæter i snart to årtier (EEA, 2020).

I dag er der diskussion om anden bølge af erstatningsprodukter, det såkaldte laboratoriekød, "clean meat" eller in-vitro kød. Der er generelt stor uenighed om emnet. I den ene ende af spektret findes tænketanksrapporten om landbrug og fødevarer fra RethinkX (2019), hvor der argumenteres for en total disruption af husdyrholdsbaserede proteinproduktion, og hvori det konkluderes at den amerikanske kvægindustri vil være drastisk reduceret allerede i 2035. Behovet, og dermed prisen, for landbrugsjord vil styrtdykke og bedre og billigere fødevarer vil



blive globalt tilgængelige. Et lidt tidligere studie (Tuomisto & de Mattos, 2011) forudsiger en reduktion i drivhusgasudledninger fra "cultured meat" på 78 – 96 pct. På den anden side er der forskning, der påpeger alle de uløste problemer ved laboratoriekød. Herunder forbrugernes accept (Hocquette 2016) og en række klima- og sundhedsmæssige udfordringer. Fx drager kødproduktion med husdyr fordel af dyrenes immunforsvar, hvor kød dyrket på vækstgitter, stamceller og "nærringsuppe" er særdeles sårbare og stiller store, fordyrende og energikrævende krav til sterile produktionsmiljøer (Mouraille 2019). Et studie, Smetana (2015), viser at laboratoriekød formentlig vil være mere klimavenligt end kød fra kvæg og svin, men mindre klimavenligt end fjerkræ og plantebaserede alternativer.

Samlet set er der således tale om en teknologi under udvikling. I ovennævnte notat fra EEA (2020) anerkendes det, at syntetisk kødproduktion kan være fremmende for omstillingen til lavemissionssamfund, men at teknologiens udbredelse er usikker og spekulativ på nuværende tidspunkt. Det anerkendes også, at hvis der er en positiv udvikling på dette område, så kan det have konsekvenser og kræve støtte til omstilling af husdyrholdsbase landbrug.