

**NYE TEKNOLOGIER TIL REDUKTION AF
MARKBRUGETS KLIMABELASTNING**

Nye teknologier til reduktion af markbrugets klimabelastning	Ansvarlig	atch
	Oprettet	29-10-2020
	Side	1 af 14
Projekt: 7854, Mod en klimaneutral planteproduktion		

Nye teknologier til reduktion af markbrugets klimabelastning

Indhold

Nye teknologier til reduktion af markbrugets klimabelastning	1
1 Indledning	2
2 Landbruget.....	3
3 Teknologier til reduktion af drivhusgasudledning	4
3.1 Pyrolyse af biomasse til produktion af biochar og flybrændstof	4
3.1.1 Teknologien.....	4
3.1.2 Potentiale	5
3.1.3 Barrierer for udvikling og implementering	7
3.2 Grøn ammoniak	8
3.2.1 Teknologien.....	8
3.2.2 Potentiale	9
3.2.3 Barrierer for udvikling og implementering	10
3.3 Effektive nitrifikationshæmmere.....	10
3.3.1 Teknologien.....	10
3.3.2 Potentiale	11
3.3.3 Barrierer for udvikling og implementering	12
4 Konklusioner	13
5 Referencer	14

1 Indledning

Klimaforandringerne er, sammen med et stigende pres på naturen og et øget fødevarebehov mod 2050, blandt vor tids største globale udfordringer. Med en aftale om en ny klimalov, tager Danmark et skridt i kampen mod klimaforandringerne. Det er første gang Danmark ved lov sætter mål for de samlede danske udledninger, og på den måde repræsenterer målene en ny retning for dansk klimapolitik. Aftalen betyder, at Danmark i 2030 skal reducere sine drivhusgasudledninger med 70% i forhold til niveauet i 1990 og der er desuden i aftalen et mere langsigtet mål om national klimaneutralitet senest i 2050.

I de første 30 år siden 1990 har *Danmark* reduceret drivhusgasudledningerne med ca. 38%, hvorfor der stadig resterer en kæmpe opgave, da næsten halvdelen af opgaven skal løses over de næste 10 år. Vejen til at nå de 70% reduktion i drivhusgasudledning synes derfor stadig lang, og der kræves yderligere teknologiudvikling og nytænkning, hvis målet skal nås. Første skridt mod at nå målet er at starte med at implementere allerede kendte teknologier, hvor man fx erstatter fossile brændstoffer med grøn teknologi. Implementering af allerede kendt teknologi kaldes implementeringssporet. Denne implementering er i gang, men skal tage fart allerede nu, hvis der skal ses en målbar effekt i 2030. Dog tyder alt på, at implementering af allerede kendte teknologier ikke er nok, hvis målet om en 70% reduktion i drivhusgasudledningen skal nås i 2030. Derfor er det nødvendigt med yderligere teknologiudvikling, hvor mere uprøvede teknologier skal i spil, og hvor danskernes vaner og forbrug skal ændres mere gennemgribende i en klimavenlig retning – udviklingssporet (fig 1).

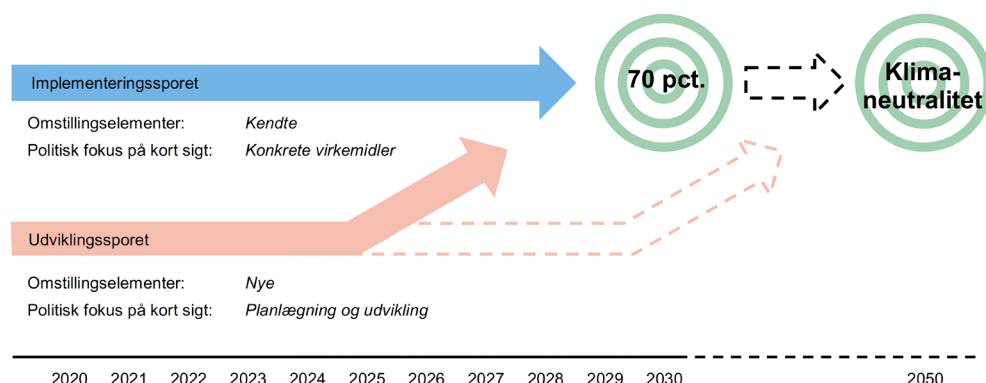


Fig. 1. Illustration af vejen til at nå de 70% reduktion af drivhusgasudledningen i 2030. Dette gøres vha. et implementeringsspor, hvor teknologierne og omstillingselementerne allerede er kendte, og et udviklingsspor hvor der skal udvikles nye teknologier og omstillingselementer, som på sigt vil kunne overgå til implementeringssporet i takt med de bliver udviklet, afprøvet og kommercialiseret. Kilde: Klimarådet 2020

Det store spørgsmål er nu, hvor langt vi kan nå med at reducere Danmarks drivhusgasudledninger, hvis vi kun implementerer kendte teknologier – kun bruger implementeringssporet. Beregninger foretaget af Klimarådet viser, at vi når ca. en 60% reduktion, hvis vi bruger kendte omstillingselementer (Klimarådet 2020). Der mangler således stadig 10% for at nå den 70% reduktion, som skal nås, vha. udviklingssporet og nye teknologier (fig. 2).

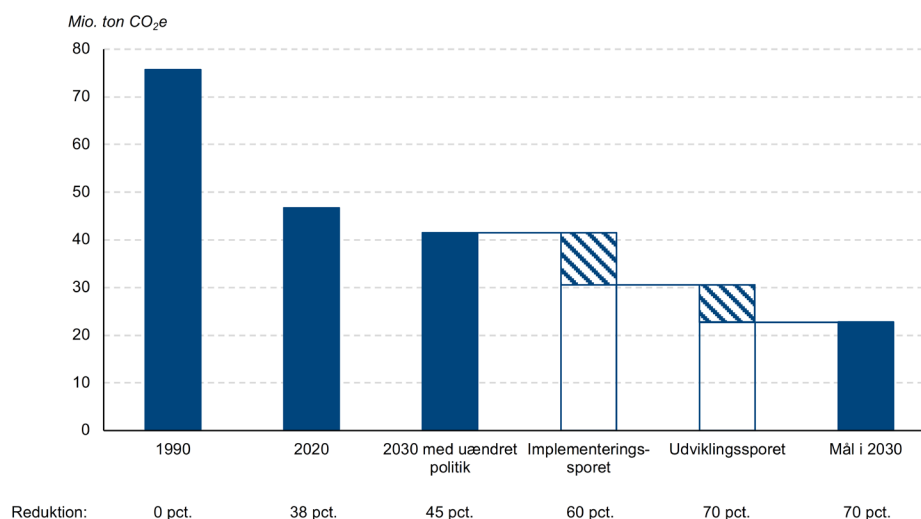


Fig 2. Danske nettoudledninger af drivhusgasser fra 1990 til målet i 2030. søjlen for 2020 angiver den forventede udledning i henhold til basisfremskrivningen. Kilde: Klimarådet 2020, Basisfremskrivningen 2019 og Energistyrelsen.

2 Landbruget

Den grønne omstilling mod en klimaeffektiv fødevarer-, landbrugs-, og skovbrugssektor har været i gang i flere årtier. Fødevarer- og landbrugssektoren har allerede i perioden 1990-2017 reduceret sin udledning med 25% (Klimapartnerskabet). Dette vha. energieffektiviseringer, nye effektive staldsystemer, bedre gødningshåndtering, overdækning af gylletanke, øget skovrejsning mm. I partnerskab med samfundet ligger der potentiale for at levere yderligere 37% reduktion, så sektoren samlet vil kunne have reduceret sin udledning med 62% i 2030 i forhold til 1990. Det svarer til en reduktion på 12,6 mio. ton i 2030. Gennem forskning og udvikling er der potentiale for at sektoren kan få en yderligere reduktion så man når 72% i 2030, svarende til en reduktion på 14,8 mio. ton CO₂ (Klimapartnerskabet for fødevarer- og landbrugssektoren).

Drivhusgasudledningen fra det samlede landbrug udgjorde i 2016 21% af den samlede danske udledning, svarende til 10,5 mio. CO₂ ækv. Medregnes landbrugets andel af energiforbrug samt det, der i regnskabet relaterer sig til ændringer i arealanvendelsen (LULUCF), kommer landbrugets drivhusgasudledning op på 15,6 mio. ton CO₂ ækv. Det gør landbruget til den næststørste udleder af drivhusgasser på nationalt plan. Ser man isoleret set på markbruget, udledes der årligt ca. 9 mio. ton CO₂ ækv. Inkl. LULUCF. Markbruget udgør således ca. 58% af de samlede landbrugsrelaterede drivhusgasemissioner.

Det mest oplagte reduktionstiltag i jordbruget er udtagning af kulstofrige lavbundsjord. Når man stopper med at dyrke disse områder, og hæver vandstanden, bremses frigivelsen af jordens kulstof til atmosfæren i form af CO₂. Kulstof bliver derved permanent lagret i jorden.

Ved implementering af klimavirkemidler i landbruget, som fx udtagning af organogene lavbundsjord, vil man kunne reducere markbrugets klimabelastning markant. Dog skal der udvikles og implementeres nye klimavirkemidler, hvis landbrugets erklærede mål omkring klimaneutral fødevarerhverv i 2050 skal realiseres. Med andre ord forudsætter klimaneutralitet i 2050 store teknologispring på flere områder.

I denne redegørelse beskrives flere mulige nye teknologier, der vil kunne reducere klimabelastningen fra jordbruget yderligere frem mod 2050. Mulige barrierer belyses, samt tages der stilling til den mulige reduktion i klimabelastning, samt udsigten til en implementering af teknologien. De mulige nye teknologier der er belyst i denne rapport er: Biochar, SkyClean, Grøn ammoniak til gødning eller til brændstof, effektive nitrifikationshæmmere og elektrificerede robotter til markbruget.

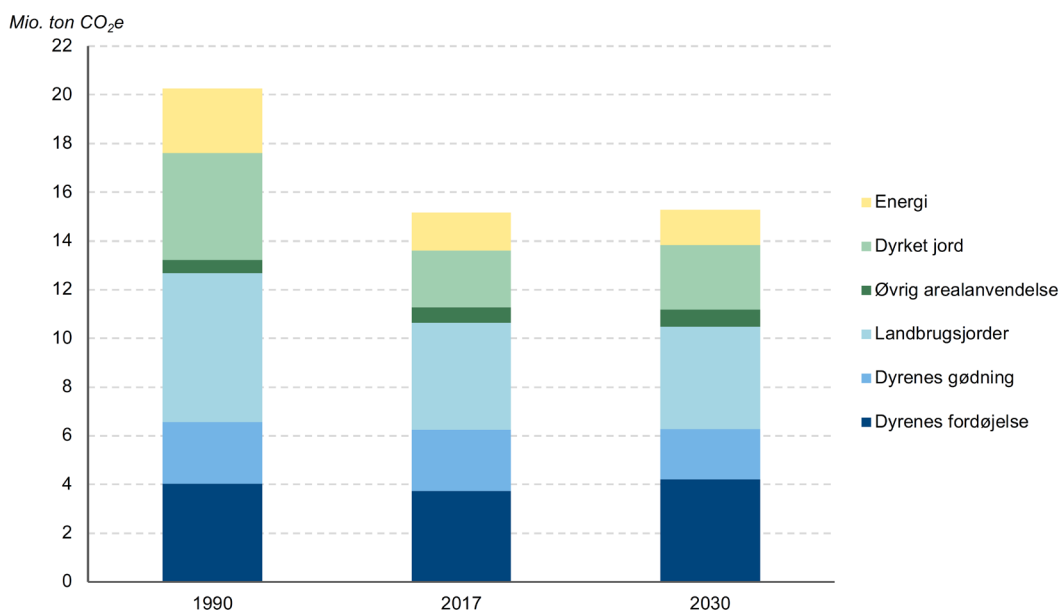


Fig. 3. Historiske og fremskrevne drivhusgasudledninger fra landbrug, arealanvendelse og skov. Klimarådet 2020 (basisfremskrivningen 2019)

3 Teknologier til reduktion af drivhusgasudledning

3.1 Pyrolyse af biomasse til produktion af biochar og flybrændstof

I Danmark er der hvert år ca. 2,5 mio. tons halm i overskud. Denne halm pløjes ned i jorden, men størstedelen af halmen nedbrydes og frigives til atmosfæren igen som CO₂ ved mikrobiel nedbrydning på relativt korte tidsskalaer. En mulig måde at reducere markbrugets klimabelastning, er det derfor at finde en måde, hvorpå en større del af kulstoffet i halmen kan bindes i jorden over længere perioder. Her kan pyrolyse af biomasse spille en rolle, da der ved denne proces produceres stabilt kulstof i form af biochar, der kan bringes ud på markerne og derved lagre kulstof i jorden.

3.1.1 TEKNOLOGIEN

I pyrolysen, der er en termisk materialenedbrydning, nedbrydes biomasse ved høje temperaturer (300-900 grader) under iltfrie forhold (Lehmann og Joseph 2015). Under pyrolysen dannes der gas og bio-olie af en del af det tilsatte kulstof, mens der dannes biochar, som er et restprodukt, af den resterende andel. Hvor stor en andel der omdannes til hhv. gas/bioolie og biochar, kan påvirkes ved at justere på procesmæssige faktorer. I pyrolyseprocessen kan benyttes overskudshalm og restfibre fra biogas, og biochar kan efterfølgende bruges til jordforbedring af landbrugsjorden samt lagring af kulstof til gavn for landbrugets miljø- og klimaafttryk, mens gas og bio-olie kan bruges til energiformål som fx brændstof. I forhold til at reducere markbrugets klimabelastning er der ved denne teknologi, to mulige veje man kan vælge. 1, Pyrolyseprocessen optimeres til at producere mest muligt biochar til udbringning på landbrugsjord for at lagre kulstof, eller 2, Pyrolyseprocessen optimeres til at producere en større andel bio-olie, der kan bruges som flybrændstof. Dette kaldes for SkyClean-teknologien. Nedenfor er teknologierne beskrevet hver for sig.

Biochar

Ved pyrolyseprocessen dannes biochar som et restprodukt. Kulstoffet, der findes i biochar, er meget stabilt, og nedbrydes derfor ikke til CO₂ af jordens organismer i samme hastighed som det f.eks. ses ved nedmuldning af halm. Biochar har høj stabilitet, højt kulstofindhold og er resistent overfor biologisk ned-

brydning (Hammes et al. 2008). Disse karakteristika gør, at biochar ikke nedbrydes (eller i hvert fald kun nedbrydes meget langsomt), men i stedet lagres i jorden i tusinder af år under naturlige forhold (Sun et al. 2014). Derfor kan udbringning af biochar på landbrugsjorden, være en del af løsningen til at landbruget kan reducere sit klimaaftryk.

SkyClean

Under pyrolyseprocessen dannes der bio-olie. For at bio-olien kan omdannes til brændstof, skal der tilsættes brint. Brinten dannes ved elektrolyse af vand, hvor energien kommer fra vindmøller. SkyClean teknologien sikrer derved, at halvdelen af kulstoffet fra landbrugets overskudshalm og restfibre fra biogasproduktion bliver permanent bundet i jorden som biochar, mens den anden halvdel der bliver til flybrændstof, ender tilbage i atmosfæren, når brændstoffet forbrændes i flymotoren. Den nye SkyClean teknologi kan siges at være kulstof-negativ. Det vil sige, at jo mere flybrændstof der produceres ved hjælp af denne teknologi, jo mere CO₂ trækker vi ud af atmosfæren, til lagring i landbrugsjord, samtidigt med at denne type brændstof erstatter noget fossilt brændstof.

Den helt store udfordring ved disse to teknologier er, at det er det samme kulstof de konkurrerer om. Der er kun en vis mængde halm eller restfibre fra biogas til rådighed. Der vil derfor skulle tages et valg om, hvilken teknologi der skal fokuseres på.

3.1.2 POTENTIALE

Pyrolyse med henblik på produktion af Biochar:

Der er et væsentligt klimapotential i udbringning af biochar på landbrugsjorden, da biochar binder kulstof i jorden – kulstof der ellers ville være ledt tilbage til atmosfæren ved mikrobiel nedbrydning. Kulstoflagring er den primære kilde til reduktioner i udledningerne. Der er desuden studier der tyder på at biochar også kan reducere udledningen af lattergas fra markerne (Cayuela et al 2014, Cayuela et al. 2015). Dette kan ske ved forskellige mekanismer: 1. biochar ændrer pH i jorden og medfører derved ændringer i de mikrobielle samfund (Zhu et al. 2017), 2. adsorptionen af ammonium øges (Kettunen og Saarnio 2013) 3. luftgennemstrømningen i jorden øges, hvorfor iltede forhold opstår, hvilket medfører et fald i denitrifikation (Rogovska et al. 2011).

I det følgende er der regnet på potentialet for kulstoflagring og dermed reduktionen i CO₂-udledninger fra landbrugsjorden. Her er der regnet på mulige potentialer for biocharudbytte ved forgasning af halm. I potentialeberegning 1 er der antaget et udbytte ved forgasning af halm på 20% biochar (Olesen et al. 2018), hvilket svarer til at ca. 34% af kulstoffet i halm, omdannes til biochar-kulstof ved et kulstofindhold på 44% og 75% i hhv. halm og biochar. Der er regnet på endnu et potentiale, da det vurderes at 34% af kulstoffet der omdannes til biochar kan være lavt sat. I scenarie 2 er der derfor regnet med et udbytte på 30% biochar, hvilket svarer til at ca. 50% af kulstoffet i halm omdannes til biochar-kulstof. Der er desuden antaget en typisk tildelingsrate på 20 ton/ha i begge scenarier. Der er regnet på forskellige scenarier, hvor forskellige halmtyper antages at blive forgasset, omdannet til biochar og udbragt på landbrugsjord (Danmarks Statistik):

1. I Danmark er der potentiale for øget anvendelse af halm til energiformål på 1 mio. ton (Elsgaard et al 2011)
2. Al halm der i 2019 ikke blev bjærget, eller som blev brugt til fyring
3. Halvdelen af al halm i DK der ikke blev bjærget eller som blev brugt til fyring
4. Al hvede- og bygghalm der ikke blev bjærget eller som blev brugt til fyring.
5. Al overskudshalm der i 2019 ikke blev bjærget
6. Halvdelen af al overskudshalm i DK der ikke blev bjærget

Halm, der nedmuldes, efterlader ca. 9,7% af det tilførte kulstof tilbage i jorden på et 100-årigt perspektiv (Mogensen et al. 2018). Nedmuldes 1 mio. ton halm med et kulstofindhold på 44%, vurderes den stabile andel derfor at være 42.680 ton C. Dannes der i stedet biochar, dannes der ca. 200.000 – 300.000 ton

biochar, alt efter om man antager hhv. 20 eller 30% udbytter af biochar ved pyrolysen. Biochar har et kulstofindhold på ca. 75% hvor 90% af biochar vurderes at være langtidsstabil. Derved bliver den totale stabile kulstof-andel vurderet til 135.000-202.500 ton C. Altså betyder produktionen af biochar, at kulstoflagringen tre-fem dobles i forhold til nedmuldning af halm. Udbringes den producerede mængde biochar på 10.000 ha svarer den øgede kulstoflagring til 9,2 ton C/ha. Scenarieberegningerne for brugen af biochar som virkemiddel ses i tabel 1. I scenarieberegningerne er der modregnet den nuværende effekt af halmnedmuldning, men der er ikke indregnet energiforbrug til pyrolysen eller til transport af halmen.

Tabel 1. Kulstoflagringspotentialer ved udbringning af biochar på landbrugsjord, ved forskellige scenarier.

Scenarie	Biochar Udbytte	Mængde halm (ton)	Udbredelse af biochar ved tildelingsrate på 20 ton/ha (ha)	Potentiale for kulstoflagring (Ton C)	CO ₂ -ækv
Øget mængde halm kan anvendes til energiformål (der anvendes en 9,7% andel stabilt kulstof)	20	1.000.000	10.000	92.320	338.507
	30	1.000.000	15.000	159.820	586.007
Al halm i DK der i dag anvendes til fyring + halm der ikke bjærges	20	4.548.200	45.482	621.561	2.279.057
	30	4.548.200	68.224	990.692	3.632.536
Halvdelen af al halm i DK der i dag anvendes til fyring eller som ikke bjærges	20	2.274.100	22.742	324.806	1.190.956
	30	2.274.100	34.112	517.701	1.898.237
Al halm fra hvede og byg der i dag ikke bjærges, eller anvendes til fyring	20	3.220.300	32.203	384.284	1.409.043
	30	3.220.300	48.305	612.502	2.245.841
Al overskudshalm i DK	20	2.734.300	27.343	252.431	925.579
	30	2.734.300	41.015	436.996	1.602.318
Halvdelen af al overskudshalm i DK	20	1.137.150	13.672	126.215	462.789
	30	1.137.150	20.507	218.498	801.159

Med brug af al Danmarks halm der i dag anvendes til fyring og som ikke bjærges, er potentialet ca. 2,3 – 3,6 mio. ton CO₂. Hvis dette scenarie var realistisk, ville man på denne måde kunne reducere udledningen af klimagasser fra markbruget markant. Dog ville det skabe mange andre problemer. Som fx hvad der så skal brændes af i vores kraftvarmeværker når ikke der er mere halm? Det vil derfor kræve at værkerne ombygges til at kunne afbrænde andre ressourcer. Et andet problem der kan opstå ved nogle af disse scenarier er, at overskudshalm i dag ikke bjærges. Det vil være omkostningstungt at skulle bjærge al denne halm og få den transporteret til pyrolyseanlæg, og efter produktionen af biochar, at få transporteret biochar tilbage til bedriften og udbragt på marken. Derfor kræver brugen af overskudshalm flere beregninger på omkostninger ved bjærgning og transport, og der skal regnes på hvor pyrolyseanlæggene skal ligge, og hvor mange der skal være, for at det er økonomisk optimalt.

Der er stadig stor usikkerhed på, om udbringning af biochar på markerne, vil reducere lattergasemissionerne. Tidligere studier tyder på at biochar kan have en effekt i at reducere udledningen af lattergas fra

markerne. Internationale studier har vist en reduktion i lattergasudledningen på op til 28% ved brug af biochar i markforsøg (Cayuela et al 2014, Cayuela et al 2015). Dog mangler der stadig studier der kan dokumentere denne effekt under danske markforhold, før effekten kan medregnes i danske landmænds klimaregnskab.

Biochar har også andre effekter end reduktion i udledningen af klimagasser. Da biochar typisk har en høj pH værdi, kan det bruges til at hæve pH i jorden. Desuden har biochar en lav vægtfylde, hvilket efter blanding med pløjelaget kan reducere jordens vægtfylde og forbedre jordens luftskifte og transportprocesser. Biochar kan også øge jordens evne til at tilbageholde vand og næringsstoffer i rodzonen. Dette skyldes primært biochars porøse struktur og ofte store overfladeareal. Derfor er biochar foreslået som jordforbedringsmiddel (Lehmann og Joseph 2015)

Pyrolyse med henblik på SkyClean teknologien:

Teknologien er stadig helt ny, og en egentlig måling af potentialet er endnu ikke tilgængelig. Men forskere på Danmarks Tekniske Universitet og Aarhus Universitet vurderer, at landbruget med SkyClean teknologien kan reducere sin udledning af klimagasser med 50% i forhold til den samlede udledning fra landbruget, som opgøres til 10,4 mio. tons CO₂. Denne reduktion kommer på baggrund af restproduktet biochar, som udbringes på markerne og lagrer CO₂. Således kan SkyClean teknologien bidrage til en halvering af landbrugets klimaaftryk, og samtidig bidrage til CO₂-neutral flytransport. Dog kan disse effekter i reduktionen af klimagasudledningen ikke godskrives landbruget, men i stedet transportsektoren. Det vurderes at der er potentiale til at producere CO₂-neutralt flybrændstof nok til at række til alle fly, der lander og skal tankes i Danmark.

Nationalt eller globalt klimapotentiale for landbruget

Ved implementering af pyrolyse til produktion af biochar til udbringning på landbrugsjord vil kulstoflagringen tilskrives den enkelte bedrift, og vil derfor kunne medtages i Danmarks nationale opgørelse.

Ved implementering af pyrolyse til produktion af flybrændstof og med biochar som restprodukt, vil udbringning af biochar stadig kunne medregnes i den nationale opgørelse inden for landbruget. Produktionen af flybrændstof vil dog kun kunne tilskrives transportsektoren, og vil dermed ikke hjælpe landbruget til at nå målet om en 70% reduktion.

3.1.3 BARRIERER FOR UDVIKLING OG IMPLEMENTERING

Biochar:

En stor barriere i forhold til implementering af kulstofbinding i jorden vha. biochar, er den nuværende kapacitet. Der er på nuværende tidspunkt ikke nogen kommercielle pyrolyseanlæg i Danmark, kun et mindre gårdanlæg hos en æggeproducent. Så flere anlæg skal opføres, hvis biochar skal udbredes i Danmark. Men da biochar er et restprodukt fra pyrolyseprocessen, skal økonomien i pyrolyseanlæggene drives af energiproduktionen. Der findes ikke tilstrækkelig dokumentation på biochars evne til at forbedre jordforhold, og dermed høstudbytte. Det er derfor meget tvivlsomt at biochar kan hjælpe den enkelte landmand til en bedre økonomi. Og uden økonomisk gevinst, er det svært at se den enkelte landmand betale for et restprodukt som biochar. Skal biochar udbredes i Danmark, vil det derfor være udelukkende som et klimavirkemiddel, og det skal derfor være en politisk beslutning, hvor der følger en pose penge med.

En anden barriere er, at der mangler forskning på området i forhold til at dokumentere effekten, eller manglen på samme, af biochar som jordforbedringsmiddel. Biochar er ikke et ensartet produkt, men derimod en samlet betegnelse for kulstofrester af forskellige biomasser. Det betyder, at forskningsresultater opnået med en type biochar ikke uden videre kan overføres til at gælde en anden type biochar. Det kræver derfor en stor indsats at få kortlagt effekten af forskellige typer biochar, både på klimagasudledninger, men også som jordforbedringsmiddel. Desuden findes der endnu heller ikke en regulering med kvalitetskrav, hvilket er en direkte følge af den lave produktion af biochar.

En egentlig implementering af biochar som klimavirkemiddel ser derfor ud til at have lange udsigter, da det stadig diskuteres hvem der skal betale, samtidig med der oparbejdes dokumentation for virkningen af biochar, hvilket kræver forskningsmidler og etablering af et egentligt pyrolyseanlæg.

SkyClean:

Barriererne for implementering af SkyClean teknologien skal primært findes i udviklingen. I øjeblikket findes SkyClean teknologien kun i mindre skala, bl.a. ved mindre testanlæg på Risø, og teknologien er i sit nuværende stadie ikke rentabel. Det er derfor helt essentielt, at teknologien udvikles til at kunne afprøves i storskalaforsøg, og udvikling af selve teknologien til også at være rentabel. Og her er stadig et stykke vej tilbage for holdet bag SkyClean teknologien. Helt konkret mangler der forskningsmidler til at opføre et fuldskala-pyrolyseanlæg med mulighed for at opklassificere bio-olien til flybrændstof, for at kunne afprøve teknologien og dokumentere afkastet og de mulige effekter på landbrugets klimagasudledning.

En anden ting der er værd at overveje, er, om der er halm og plantemateriale nok til rådighed til at producere flybrændstof og biochar i de mængder man gerne vil for at reducere klimagasudledningen. Dog kan alle former for biologisk materiale pyrolyseres, så nye produktionsmuligheder kan indtænkes, som fx produktion af energipil, eller at udnytte andre restfraktioner som fx fiberfraktionen fra biogasanlæg.

3.2 Grøn ammoniak

Ammoniak har været brugt som gødning i over et århundrede, og har været vigtigt i forhold til at sikre tilstrækkelig fødevarertilgængelighed. Ammoniak kan også benyttes som brændstof til større køretøjer, og som et energilager for kemisk energi, og har derfor stort potentiale i forhold til at fortrænge fossile brændstoffer, hvis ammoniak kan produceres på en måde hvor der anvendes grønne energikilder, som fx sol og vind. Dermed vil grøn ammoniak kunne benyttes i landbrugsmaskinerne, og derved reducere den enkelte bedrifts klimabelastning da det fortrænger fossile brændstoffer.

3.2.1 TEKNOLOGIEN

Ammoniak produceres i dag ved haber-bosch processen, hvor H_2 og N_2 ved en katalytisk reaktion under højt tryk og temperatur, omdannes til ammoniak (NH_3). Som det er i dag, er kilden til H_2 primært metan fra naturgas. Her separeres kulstof og hydrogen under højt tryk og temperatur med en katalysator til stede. Også andre fossile brændstoffer som kul og olie kan benyttes som brintkilde, med en højere CO_2 -udledning til følge. Hvis man skal producere grøn ammoniak, skal der i de involverede processer benyttes vedvarende bæredygtige energikilder. Dette kan fx være sol eller vindenergi, der kan udnyttes i produktionen af brint vha. elektrolyse af vand, en såkaldt elbaseret power-to-x teknologi. Netop brintproduktionen er den store energisluger, og det er derfor i denne proces, man kan hente den største klimagavinst, ved at erstatte energikilden med en vedvarende, og dermed reducere CO_2 -udledningen. At reducere CO_2 -udledningen fra en samlet ammoniakproduktion afhænger derfor primært af kilden hvorfra hydrogen produceres (The Royal Society 2018).

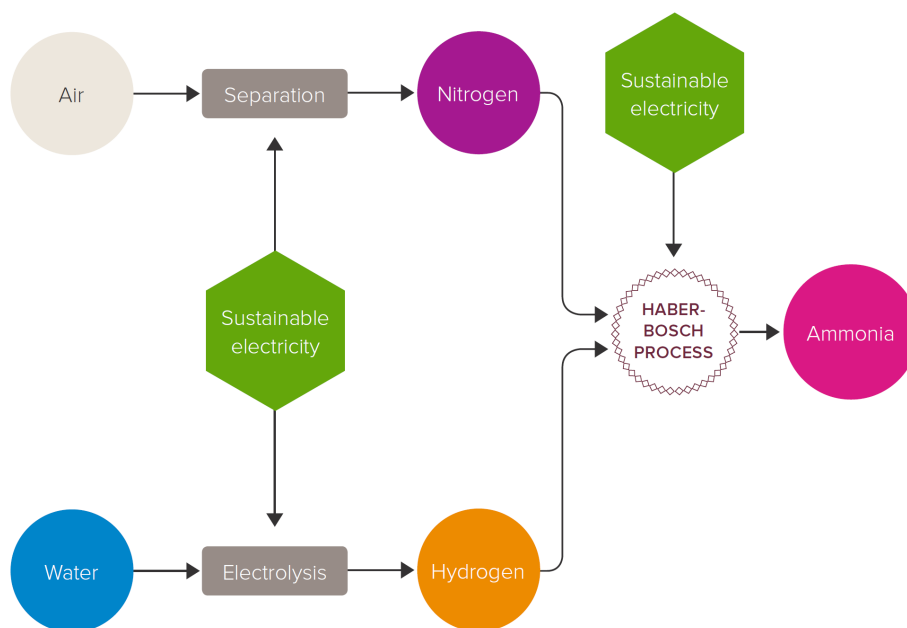


Fig.4. Fremstilling af grøn ammoniak

3.2.2 POTENTIALE

Ammoniak produktionen er meget energikrævende og ved benyttelse af den nuværende teknologi til produktion af ammoniak vha. haber-bosch processen, og hvor brinten kommer fra naturgas, udledes der 1,6 ton CO₂ pr ton produceret ammoniak. Denne udledning af CO₂ i forbindelse med ammoniakproduktion kan altså helt elimineres, hvis man kan anvende vedvarende energikilder som fx sol eller vind til ammoniakproduktionen. På nuværende tidspunkt ligger der dog ikke nogen produktion af gødning på dansk grund, hvorfor produktion af grøn ammoniak til gødning ikke har nogen indvirkning på den danske opgørelse over udledninger af drivhusgasser. En grøn produktion af ammoniak til gødning vil derfor ikke hjælpe Danmark til at nå i mål med en 70% reduktion af klimagasser. Grøn ammoniak til gødning vil dog have en betydning i regnskabet hvis man kigger på det med et LCA perspektiv, og har derfor et globalt klimapotentiale.

Anvendes den grønne ammoniak i stedet til produktion af brændstof der kan erstatte fossile brændstoffer i landbrugsmaskinerne, vil det have en effekt på den danske opgørelse. På nuværende tidspunkt udledes der 600.000 ton CO₂ relateret til brændstofforbrug i landbruget (Denmark's National Inventory Report 2018). Hvis man producerer grøn ammoniak til brændstof, og på den måde fortrænger fossile brændstoffer i landbruget, vil reduktionspotentialet for klimagasser altså være 600.000 ton CO₂/år.

Nationalt eller globalt klimapotentiale for landbruget

Produktion af grøn ammoniak til gødning og/eller til brændstof har forskellige indvirkninger på det nationale klimapotentiale.

Brændstof: Grøn ammoniak til brændstof vil fortrænge et dieselforbrug hos den enkelte bedrift, og vil derfor have indvirkning på den danske opgørelse over klimagasser.

Gødning: Grøn ammoniak til gødning vil fortrænge traditionelt produceret handelsgødning. Produktionen af handelsgødning foregår dog uden for Danmark, hvorfor gødningsproduktion ikke indgår i det danske klimaregnskab.

3.2.3 BARRIERER FOR UDVIKLING OG IMPLEMENTERING

Som det ser ud nu, er der betydelige barrierer i forhold til at få implementeret teknologien i stor skala. En af de store udfordringer er omkostningerne ved produktionen af brint, som benytter megen elektricitet, som i mange dele af verden, stadig er dyrere end naturgas. Der er derfor ikke det store økonomiske incitament til at finde på andre løsninger. Da processen kræver megen energi, kræves også store fabrikker og en stor produktion, for at det overhovedet kan betale sig. Når produktionen skal igangsættes, kræver det yderligere energi, hvorfor disse fabrikker typisk kører i døgndrift. Det er ikke et problem, når der anvendes fossile brændstoffer, men ved sol og vind-energi, kan det give udfordringer. Det er derfor nødvendigt at udvikle mere energieffektive processer, som fx effektive katalysatorer, da processen da ville kunne køre ved lavere tryk og temperatur, og derved heller ikke kræve den samme mængde energi. Herved vil processen kunne køre i mindre skala, og grøn ammoniak som gødning eller brændstof vil være tilgængeligt for flere.

På nuværende tidspunkt produceres der globalt ca. 176 millioner tons ammoniak om året, hvilket primært produceres gennem udnyttelse af naturgas. Den meget energikrævende proces til ammoniakproduktion producerer omkring 500 millioner tons CO₂ – ca. 1,8% af de globale CO₂ emissioner (The Royal Society 2020). Der skal mere forskning og udvikling til for at reducere omkostningerne, så brint kan produceres ved vedvarende energi med lave omkostninger. De steder i verden, hvor vedvarende energi allerede er godt implementeret og hvor omkostningerne er forholdsvis lave, er snart ved punktet, hvor en grøn ammoniakproduktion også økonomisk er fordelagtig.

3.3 Effektive nitrifikationshæmmere

Kvælstof tilføres markerne med handels- og husdyrgødning (primært gylle), heraf en stor del i form af ammonium. Ammonium omdannes i jorden til nitrat gennem en mikrobiel proces, som kaldes nitrifikation. Nitraten kan herefter under iltfrie forhold omdannes til frit kvælstof vha. en anden mikrobiel proces kaldet denitrifikation. Tilførsel af kvælstofholdig gødning og den efterfølgende nitrifikation (og denitrifikation) fører til øget lattergasudslip fra markerne. Hæmning af nitrifikationen kan derfor i nogle tilfælde bidrage til en bedre kvælstofudnyttelse da det tilførte kvælstof holdes på ammoniumform i en længere periode.

3.3.1 TEKNOLOGIEN

Når gødning udbringes på marken, enten i form af handels- eller husdyrgødning, tilføres kvælstof på enten ammonium- eller nitratform. Kvælstof tildelt i ammoniumform, forbliver ikke på ammoniumform, men omdannes til nitrit og herefter nitrat i jorden ved hjælp af forskellige bakterielle processer. Disse bakterielle processer lækker lattergas, hvorfor tildeling af kvælstofholdig gødning er kilde til drivhusgasudledning fra markbruget. Ved tilsætning af en nitrifikationshæmmer til gødningen, hæmmes de bakterier der omsætter ammonium til nitrit og nitrat. Kvælstof vil derfor blive holdt på ammoniumform og læk af lattergas fra nitrifikation og denitrifikation mindskes markant. Desuden adsorberer ammonium bedre til jordpartikler og udvaskes dermed ikke, og vil i længere tid være tilgængelig for optag i afgrøderne.

Nitrifikationshæmmere er kemiske komponenter, der er i stand til at holde det tilførte ammoniumkvælstof på netop ammoniumform. Det er veldokumenteret, at brugen af nitrifikationshæmmere kan forsinke opkoblinger af nitrat i jorden, og derved, under de rette forhold, mindske risikoen for udvaskning (Qiao et al. 2015). Nitrat i jorden er desuden en forudsætning for denitrifikation, og kvælstoftab via denitrifikation kan derved også begrænses ved brugen af nitrifikationshæmmere. Der findes flere forskellige typer af aktivstoffer som bruges i nitrifikationshæmmere.

- DMPP (3,4-dimethylpyrazole phosphate) – sænker aktiviteten af *nitrosomonas* som udfører det første trin i nitrifikationen, nemlig omdannelsen af ammonium til nitrit. Kan anvendes i relativt små doser.
- DCD (Dicyandiamide) – sænker også aktiviteten af *nitrosomonas* som udfører det første trin i nitrifikationen. DCD kan stabilisere ammonium i 4-10 uger (Trenkel 2010).
- Nitrapyrin – Den slår en del af *nitrosomonas* populationen ihjel, og mindsker derved nitrifikationen. Nitrapyrin har målbare effekter i jorden i 6-8 uger ved relativt høj temperatur.

3.3.2 POTENTIALE

Brugen af nitrifikationshæmmere har en mulig klimaeffekt, da nitrifikationshæmmere holder det tilførte kvælstof på den plantetilgængelige ammoniumform. Ved hæmning af nitrifikationen og også efterfølgende denitrifikationen pga. manglende nitrat, mindskes lattergasudledningen. Indtil nu findes der ingen danske undersøgelser af nitrifikationshæmmers effekt på emission af lattergas. Dog findes der internationale studier der har analyseret effekten af tilsætning af nitrifikationshæmmer til handels- og husdyrgødning, på lattergasemissionen. På tværs af afgrøder og gødningstype ser det ud til at tilsætningen af nitrifikationshæmmere har en gennemsnitlig effekt på ~40% sammenlignet med lattergasemissionen fra tilført kvælstof uden brug af nitrifikationshæmmer (Qiao et al 2015, Akiyama et al 2010).

IFRO har regnet på potentialet i forhold til reduktion af lattergasemissioner ved tilsætning af nitrifikationshæmmere til handelsgødning. Denne beregning involverer et krav om at 90% af kvælstoffet i handelsgødning skal være på ammoniumform og tilsættes nitrifikationshæmmere, mens den resterende del er nitratkvælstof uden tilsætning af nitrifikationshæmmere. Ved tilsætning af nitrifikationshæmmere til handelsgødningen, vil kvælstofprisen stige, hvilket vil ændre den økonomisk optimale anvendelse af ammoniumholdig gødning. Indførelse af et krav om anvendelse af nitrifikationshæmmere vil derfor reducere forbruget af ammonium i handelsgødning med 4% (Dubgaard og Ståhl 2018), hvilket vil betyde en udbyttenedgang for den enkelte landmand. DCE forventer at kvælstofforbruget i handelsgødning vil ligge på 275.000 ton kvælstof årligt i perioden 2021-2035 (Olesen 2018). Forudsættes det at andelen af ammonium-N øges til 90% er kvælstofmængden der skal tilsættes nitrifikationshæmmere til, 247.500 ton N. Og med en nedgang i forbruget af ammoniumholdig gødning op 4% drejer det sig om 237.600 ton N – en nedgang på 9.900 ton kvælstof. Det bidrager med en lattergasreduktion svarende til 51.926 ton CO₂-ækv/år, kun som følge af nedsat udbringning af kvælstof.

Som nævnt ovenfor, forventes nitrifikationshæmmere at reducere lattergasemissionen med 40%, og den samlede reduktion, ved brug af IPCC's default emissionsfaktor på 0,01 kg N₂O-N/kg N, vil derfor være 0,004 kg N₂O-N/kg ammonium-N i handelsgødning, svarende til 0,004 x 44/28 x 298 kg CO₂-ækv/kg N = 1,87 kg CO₂-ækv/kg ammonium N. Ved et forventet forbrug på 237.600 ton N er potentialet 444.944 ton CO₂-ækv (Dubgaard og Ståhl 2018). En samlet reduktion i lattergasudledningen ved tilsætning af nitrifikationshæmmere til handelsgødning vil derfor være 496.238 ton CO₂-ækv, hvis der indføres et krav om at 90% af kvælstoffet i handelsgødning skal være ammoniumkvælstof.

Et krav om at nitrifikationshæmmere ved implementering skal følges af et krav om brug af 90 % af kvælstof i handelsgødning som ammonium, vurderes dog af eksperter (Furdal Nielsen, notat, 2020) til ikke at være realistisk. I dag er andelen af ammoniumkvælstof ca. 60% (Landbrugsstyrelsen, Rapport over solgt gødning, februar 2020). Størstedelen af den gødning der importeres til Danmark er ammoniumnitrat. Hvis 90 % af kvælstoftilførslen skal tildeles som ammonium, skal ca. 80 % af den samlede kvælstofmængde udskiftes fra ammoniumnitrat til urea og flydende ammoniak. Det svarer til 160.000 tons kvælstof, der igen svarer til mellem 600.000 til 700.000 tons færdig gødning, der skal ændres. Hele distributionskæden i det danske gødningsmarked er centreret om meget få og meget store selskaber. Ca. halvdelen af alt kvælstofgødning, der kommer til landet, er produceret af Yara, som har deres produktion i nærområdet baseret på ammoniumnitrat. Denne mængde vil ikke umiddelbart kunne udskiftes til kun at indeholde ammonium/urea. De fleste andre producenter og leverandører til det danske marked leverer

også ammoniumnitratholdig gødning og vil heller ikke umiddelbart kunne ændre produktion til urea eller ren ammoniumholdig gødning.

Desuden vil der være agronomiske problemer med udskiftning i gødningen, som kan være større ammoniakfordampning, udbyttetab for landmanden, stigende behov for kalkning, og problemer med udbringningen – da denne type gødning ikke kan udbringes med samme udstyr som ammoniumnitrat-baseret gødning. Alt dette vil koste landbruget dyrt, men en decideret beregning er endnu ikke lavet.

Tabel 2. Scenarieregninger for reduktion af lattergas-emissionen ved brug af nitrifikationshæmmere i handelsgødning ved forskellige andele ammonium-kvælstof i gødningen.

Andel ammonium-N i handelsgødning	Ammonium-N i gødning (ton $\text{NH}_4^+\text{-N}$)	Reduktion af lattergas-emission (ton $\text{CO}_2\text{-ækv}$)
90%	247.500	444.944
80%	220.000	411.985
70%	192.500	360.487
60%	165.000	308.989

Med hensyn til klimapotentialet i forhold til reduktion af lattergasemissionerne vil reduktionen være mindre end ovenstående beregninger indikerer, hvis ikke det er muligt at indføre krav om 90% ammonium-N i handelsgødning. Derfor er der lavet forskellige beregninger på reduktionen i lattergasudledninger ved forskellige andele af ammonium-N i handelsgødning (Tabel 2). Hvis det nuværende andel på ca. 60% ammoniumkvælstof fastholdes, vil der skulle bruges 275.000 ton kvælstof * 60% = 165.000 ton ammonium-kvælstof i handelsgødning. Ved brug af IPCC's emissionsfaktor på 1% af tilført N, og en antagelse om 40% reduktion af lattergasemissionen ved tilsætning af nitrifikationshæmmere, vil den samlede reduktion i lattergasudledningen være 308.989 ton $\text{CO}_2\text{-ækvivalenter}$. Reduktionen i lattergasemissionerne ved tilsætning af nitrifikationshæmmere til handelsgødning vil være større jo større andel ammonium-kvælstof der findes i gødningen, da nitrifikationshæmmere kun påvirker omdannelsen af ammonium til nitrat. Derfor er det, i et klimamæssigt perspektiv, smart at øge andelen af ammonium-kvælstof i gødningen så meget som det er praktisk muligt. Det er muligt at en tilsætning af nitrifikationshæmmere vil ændre prisen på handelsgødning, og dermed ændre udbringningspraksis hos den enkelte landmand, for at opnå et optimalt udbytte i forhold til omkostningerne. Dog er der stor usikkerhed omkring netop dette, hvorfor der ikke er taget højde for det i denne beregning.

Nationalt eller globalt klimapotentiale

Ved tilsætning af nitrifikationshæmmere til gødning, vil reduktionen i lattergasemissionen kunne medtages i den danske emissionsopgørelse.

3.3.3 BARRIERER FOR UDVIKLING OG IMPLEMENTERING

Før nitrifikationshæmmere kan implementeres og anvendes som klimavirkemiddel, kræver det yderligere dokumentation af nitrifikationshæmmers indvirkning på lattergasemissionerne, under danske markforhold. Forsøg har vist at hæmmere kan reducere lattergasemissionerne med 30-70% (Qiao et al 2015,

Akiyama et al 2010, Ruser og Shulz 2015), men der er stadig en række usikkerheder knyttet til effektiviteten under realistiske markforhold (Saggar et al. 2008). Effekten bør undersøges grundigt under danske forhold, inden implementering. Inden denne dokumentation foreligger, kan brugen af nitrifikationshæmmere ikke indgå i Danmarks reduktionsforpligtelse i forhold til drivhusgasser.

Der er også stor mangel på dokumentation for, om landmanden opnår et merudbytte ved brugen af nitrifikationshæmmere. Hvis landmanden selv skal tage valget om anvendelse af nitrifikationshæmmere, vil det nok, for de fleste landmænds vedkommende, kræve en dokumenteret effekt på udbytte som kan omsættes til kroner og ører. Hvis det kun bliver en udgift for den enkelte landmand, anses de ikke tilbøjelige til at implementere tiltaget. Så kræver det til gengæld en politisk beslutning, og dermed et krav om anvendelse af nitrifikationshæmmere.

På nuværende tidspunkt findes der kun få undersøgelser af nedbrydningsprodukter og miljøeffekt af nitrifikationshæmmerne generelt. Derfor er der stort fokus på at undersøge om nitrifikationshæmmere nedbrydes og udvaskes til overfladevand og grundvand, og om nitrifikationshæmmerne her kan have uønskede effekter på andre mikroorganismer end netop nitrifikanterne. Før der foreligger dokumentation på eventuelle effekter af tilsætning af nitrifikationshæmmere på miljøet, vil nitrifikationshæmmere ikke kunne indføres som klimavirkemiddel.

En sidste barriere for implementering er, at der i dag kun findes få typer af gødning med tilsatte nitrifikationshæmmere, og kun i meget begrænsede mængder. Derfor vil det kræve, at de eksisterende leverandører til det danske marked begynder at tilføre nitrifikationshæmmere til deres gødninger, eller, at der kommer nye leverandører. Den største leverandør af gødning til det danske marked er Yara, men de har ingen produkter med nitrifikationshæmmere. Så derfor vil det kræve en stor omlægning i deres produktion hvis de skal tilføre hæmmere til deres produkter – eller at der åbnes for muligheden at gødningen kan coates med nitrifikationshæmmere her i Danmark. Om de enkelte leverandører ønsker, eller har mulighed for at sælge produkter med nitrifikationshæmmere er uvist, hvorfor barrierens omfang er ukendt.

4 Konklusioner

For at nå i mål med Danmarks vision om en 70% reduktion af klimagasser i 2030, skal landbruget være en stor del af løsningen. Ved allerede kendte tiltag vurderes det at Fødevarer- og landbrugssektoren kan reducere deres drivhusgasudledninger med 62% inden 2030, og yderligere tiltag vil derfor være nødvendige, hvis målet om en 70% reduktion skal overholdes. I udviklingssporet findes der flere nye mulige teknologier der kan implementeres, hvis de opstillede barrierer overkommes. De nye teknologier beskrevet i denne rapport er udbringning af biochar på landbrugsjord, SkyClean, Grøn ammoniak til brændstof i landbrugsmaskiner og brug af effektive nitrifikationshæmmere med handels- og husdyrgødning. Alle teknologier bidrager til reduktion af udledningen af drivhusgasser, og vil derfor, på papiret, være en god ide at implementere. Der er dog væsentlige barrierer der på nuværende tidspunkt ikke gør det muligt at implementere disse nye tiltag. Fælles for barriererne er, at der er for mange ubekendte i forhold til potentiale, miljøeffekter, udbytteeffekter og specielt økonomi. Det store spørgsmål er hvem der skal betale for denne mulige reduktion i klimagasser. Derfor er der stadig behov for udvikling af disse klimavirkemidler for at en implementering i stor skala kan komme på tale.

5 Referencer

- Akiyama, H., Yan, X.Y., Yagi, K., 2010. Evaluation of effectiveness of enhanced-efficiency fertilizers as mitigation options for N₂O and NO emissions from agricultural soils: meta-analysis. *Global Change Biol.* 16, 1837-1846.
- Cayuela, M.L., Jeffery, S., Zwieten, L. van, 2015. The molar H:C_{org} ratio of biochar is a key factor in mitigating N₂O emissions from soil. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 202: 135-138.
- Cayuela, M.L., Zwieten, L. van, Sing, B.P., Jeffery, S., Roig, A., Sanchez-Monedero, M.A., 2014. Biochar's role in mitigating soil nitrous oxide emissions: A review and meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 191:5-16.
- Dubgaard, A., Ståhl, L., 2018. Omkostninger ved virkemidler til reduktion af landbrugets drivhusgasemissioner. Opgjort i relation til EU's 2030-målsætning for det ikke-kvotebelagte område. Institut for Fødevarer- og Ressourceøkonomi, Københavns Universitet. IFRO Rapport nr. 271.
- Elsgaard, L., Jørgensen, U., Gylling, M., Holste, T., Andersen, H., Nikolaisen, L., 2011. Anvendelsesmuligheder for halm til energiformål, Notat udarbejdet for Region Midtjylland.
- Hammes K, Torn MS, Lapenas AG, Schmidt MWI, 2008. Centennial black carbon turnover observed in a Russian steppe soil. *Biogeosciences* 5(5):1339–1350
- Kettunen R, Saarnio S, 2013. Biochar can restrict N₂O emissions and the risk of nitrogen leaching from an agricultural soil during the freeze–thaw period. *Agric Food Sci* 22:373–379.
- Klimapartnerskabet for fødevarer- og landbrugssektoren.
- Klimarådet, 2020. Kendte veje og nye spor til 70 procents reduktion
- Lehmann J, Joseph S, 2015. *Biochar Environ Manag Sci Technol Implement*, 2nd edn. Routledge, London
- Leng LJ, Huang HJ, Li H, Li J, Zhou WG, 2019. Biochar stability assessment methods: a review. *Sci Total Environ* 647:210–222.
- Mogensen, L., Knudsen, M.T., Dorca-Preda, T., Nielsen, N.I., Kristensen, I.S., Kristensen, T. 2018. Bæredygtighedsparametre for konventionelle fodermidler til kvæg. DCA rapport nr. 116.
- Olesen, J. E., Petersen, S. O., Lund, P., Jørgensen, U., Kristensen, T., Elsgaard, L., Sørensen, P. & Lassen, J. 2018. Virkemidler til reduktion af klimagasser i landbruget. Aarhus Universitet. DCA - Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug. Rapport nr. 130. <https://dcapub.au.dk/djfpublikation/index.asp?action=show&id=1273>
- Qiao, C.L., Liu, L.L., Hu, S.J., Compton, J.E., Greaver, T.L., Li, Q.L., 2015. How inhibiting nitrification affects nitrogen cycle and reduces environmental impacts of anthropogenic nitrogen input. *Global Change Biology* 21: 1249-1257.
- Rogovska N, Lair D, Cruse R, 2011. Impact of biochar on manure carbon stabilization and greenhouse gas emissions. *Soil Biol Biochem* 75:871–879.
- Ruser R., Schulz R. 2015. The effect of nitrification inhibitors on the nitrous oxide (N₂O) release from agricultural soils – a review. *Journal of Nutr. Soil Sci.* 178: 171-188.
- Saggar, S. ; Tate, KR; Singh, J 2008. Soil-atmosphere exchange of nitrous oxide and methane in New Zealand terrestrial ecosystems and their mitigation options: a review. *Journal of plant and soil* 309:(1-2), pp 25-42.
- Sun YN, Gao B, Yao Y, Fang J, Zhang M, Zhou Y, Chen H, Yang L-Y, 2014. Effects of feedstock type, production method, and pyrolysis temperature on biochar and hydrochar properties. *Chem Eng J* 240:574–578
- The Royal Society 2018 Options for producing low-carbon hydrogen at scale: Policy Briefing.
- The Royal Society 2020. Ammonia: zero-carbon fertiliser, fuel and energy store. Policy Briefing.
- Trenkel, M. 2010. Slow- and controlled-release and stabilized fertilizers: an option for enhancing nutrient use efficiency in agriculture. International Fertilizer Industry Association, Paris, France.
- Yang, M., Fang, Y., Sun, D., Shi, Y, 2016. Efficiency of two nitrification inhibitors (dicyandiamide and 3,4-dimethylpyrazole phosphate) on soil nitrogen transformations and plant productivity: a meta-analysis. *Sci.Rep.* 6, 22075; doi: 10.1038/srep22075.
- Zhu XM, Chen BL, Zhu LZ, Xing BS, 2017. Effects and mechanisms of biochar-microbe interactions in soil improvement and pollution remediation: a review. *Environ Pollut* 227:9

Titel

NYE TEKNOLOGIER TIL REDUKTION AF MARKBRUGETS
KLIMABELASTNING

Promilleafgiftsfonden for landbrug**Forfatter**

Alice Thoft Christensen, SEGES

Redaktører

Cecilie Skov Nielsen, SEGES
Søren Kolind Hvid, SEGES

Fotograf

Annette Vibeke Vestergaard, SEGES

Udgiver

Landbrug og Fødevarer F.m.b.A.
SEGES
Agro Food Park 15, Skejby
8200 Aarhus N
Telefon 8740 5000 | Fax 8740 5010

Denne publikation må kopieres efter aftale med SEGES.

November 2020

SEGES offers solutions for the agriculture and food sector of tomorrow. We develop business opportunities in close partnerships with our customers, research institutions and companies worldwide. SEGES is part of the Danish Agriculture & Food Council.