



Cirkulær økonomi: Nye værdikæder kan øge næringsstofforsyning til økologien

Forfattere:

Casper Laursen, Innovationscenter for Økologisk Landbrug

Morten Winther Vestenaa, Innovationscenter for Økologisk Landbrug



Opgavebeskrivelse

Ud fra en vurdering af værdikæders økonomiske-, teknologiske- og miljømæssige værdi belyses genanvendelse af madaffald fra byerne samt sidestrømme fra andre fødevareproduktioner som gødning til økologiske afgrøder.

Sammendrag og væsentligste pointer

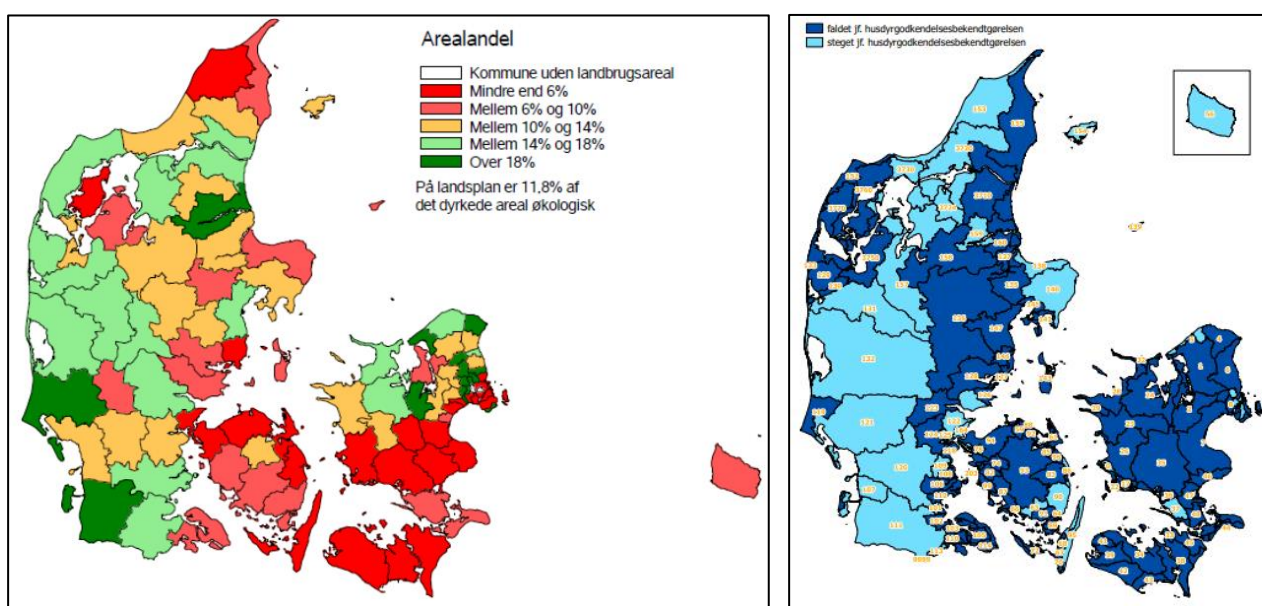
- Den økologiske produktionsforms fortsatte udvikling afhænger af øget tilgængelighed af plantenæringsstoffer, der er godkendt til brug i økologisk landbrugsproduktion. Adgang til plantenæringsstoffer er en barriere, der skal overkommes for fortsat omlægning af konventionelle arealer til økologi.
- Biogasanlæg spiller en central rolle i omfordeling og produktion af gødning fra recirkulerede rest- og affaldsprodukter. Brancheanbefalinger for økologiske producenter søger at højne re-cirkulering og cirkulær økonomi i økologien.
- Præmissen for at introducere recirkulerede gødningsprodukter til økologisk landbrugsjord er ikke at gå på kompromis med sundhed og sikkerhed for afgrøder, miljø og klima. Det økologiske forsigtighedsprincip stiller krav hertil, og der er derfor skærpede grænseværdier for de væsentligste kategorier af forurenende stoffer.
- Økologiske planteavlere på Sjælland modtager gerne næringsstoffer fra kildesorteret madaffald som gødning på deres landbrugsarealer. Det fremgår af en undersøgelse blandt større økologiske planteavlere på Sjælland, og her understreges fysiske urenheder i gødningen (særligt plast, miljøfremmede stoffer) som et særligt fokuspunkt for landmændene.
- Recirkulerede gødninger indeholder ofte flere/mange næringsstoffer, hvilket er fordelagtigt i forhold til plantevækst, da mangel på et enkelt næringsstof hæmmer plantens potentiale for vækst.
- Suboptimal næringsstofsammensætning i recirkulerede gødningsprodukter og i husdyrgødning gør nye separationsteknikker fordelagtige for bedre fordeling af nødvendige næringsstoffer.
- Den cirkulære økonomi er trekantet forstået således, at der skal være rådighed over både moden teknologi, et marked, der muliggør økonomisk overskud samt miljø- og klimamæssige fordele, før værdikæderne kan fungere optimalt.
- Madaffald er den nyeste af de rest- og affaldsprodukter, der er gjort tilgængelig i større mængder af politiske ønsker om udsortering af affald til genanvendelse og øget fokus på cirkulær økonomi. Værdikædernes værdi vurderes ud fra nedenstående tre parametre:
 - Teknologi: Den eneste større udfordring af teknologisk karakter identificeret på området er forbehandlingsanlæggenes evne til at udsortere indsamlingsposer af bionedbrydeligt plast, da dette opfører sig anderledes end almindelige indsamlingsposer af fossilt plast.
 - Marked: Markedet for produktion af biogas til gasnettet på anlæg, som aftager det indsamlede madaffald, synes sikker, og det samme gør økologernes stigende efterspørgsel på og vilje til at betale ekstra for gødning, der kommer fra biogasanlæg og dermed har en anden status end ubehandlet, konventionel husdyrgødning.
 - Miljø: Genanvendelse af madaffald via biogasproduktion har relativt til afbrænding af affaldsproduktet et positivt klimaaftryk. Omlægning af landbrugsjord til mere økologi associeres med mindsket risiko for overgødsning og deraf tab via udvaskning til vandmiljøer og via emissioner til atmosfæren. Derudover mindskes risikoen for ned-sivning af kemiske sprøjtemidler til grundvandet.
De største miljømæssige risici forbundet med anvendelse af madaffald til gødningsformål vurderes at være dets indhold af plast og mikroplast, og konsekvenserne at

tilførsel til landbrugsjord er dårligt belyst. Førende forskere på området vurderer emnet dårligt belyst, men anser ikke det begrænsede plastindhold for meget problematisk.

- På baggrund af ovenstående, vurderes værdikæderne omkring genanvendelse af madaffald med nuværende viden, marked og teknologi til rådighed at være af væsentlig højere værdi end de værdikæder, der tidligere blev realiseret omkring håndtering af madaffald.
- Den kommende/fremtidige værdikæde for genanvendelse af sidestrømme, der identificeres med størst potentiale, er værdikæder omkring produktion af kløvergræs og efterafgrøder som biomasse til biogasanlæg. Disse værdikæder er af høj værdi både økonomisk og miljø- og klimamæssigt. Markedet for kløvergræs og efterafgrøder til biogasproduktion er begrænsende for udviklingen af værdikæden, da kun få ikke-husdyrbaserede biogasanlæg eksisterer på nuværende tidspunkt.

Baggrund

Det økologiske landbrugsareal er mere end fordoblet siden 2007 og steg i 2021 til 313.111 ha (pr. 31. maj 2021). Det svarer til 11,8 pct. af det samlede landbrugsareal (Landbrugsstyrelsen, 2022). De største arealer findes i Jylland i husdyrtætte områder, mens Østjylland og særligt Fyn og områderne øst for Storebælt halter efter (se figur 1). Man har på de østdanske landbrugsarealer oplevet en langsommere omlægning til økologi, og den primære årsag hertil er manglende adgang til næringsstoffer. Udviklingen i det økologiske areal er det seneste år stagneret, og hvor denne stagnering kan tilskrives forskellige geopolitiske dagsordner, så spiller manglende næringsstoftilgængelighed måske også ind. På figur 2 ses udviklingen i dyreenheder fra 2007 til 2016, hvilket bl.a. giver et billede af, om mængden af husdyrgødning i et givet område stiger eller falder. Kortet viser generelt faldende husdyrtryk i Østdanmark, hvor økologiandelen af landbrugsarealet i forvejen er lav. Med baggrund i kortet figur 2 findes det sandsynligt, at omlægning af landbrugsarealer til økologisk drift i Østdanmark, hvis disse er afhængige af husdyrgødning, besværliggøres af fald i tilgængelighed af denne.



Figur 1 (til venstre): Den økologiske andel af det samlede landbrugsareal fordelt efter kommunegrænser. Grøn farve viser et økologiareal over landsgennemsnittet, mens rød farve illustrerer kommuner med en økologiandel, der er mindre end landsgennemsnittet. Kortet bygger på data fra 2021, hvor den gennemsnitlige økologiandel var på 11,8 %. Kilde: Landbrugsstyrelsen, 2022.

Figur 2 (til højre): Udviklingen i dyreenheder fra 2007 til 2016 fordelt på vandoplande. Lyseblå farve viser de vandoplande, hvor mængden af husdyrgødning (vist som dyreenheder) er steget i perioden, mens de mørkeblå områder viser vandoplande, hvor mængden af husdyrgødning er faldet. Kilde: Miljøstyrelsen – Husdyr, 2016.

På den politiske scene ønsker man at fremskynde udviklingen i økologisk landbrugsdrift, og man har derfor vedtaget politiske målsætninger om at øge den økologiske produktion. Målet er, at den økologiske andel af det danske landbrugsareal fordobles inden 2030 (Finansministeriet, 2021). Også i EU er der ønske om at øge det økologiske areal, så det i 2030 udgør 25 pct. af landbrugsarealet (Landbrug & Fødevarer, 2021).

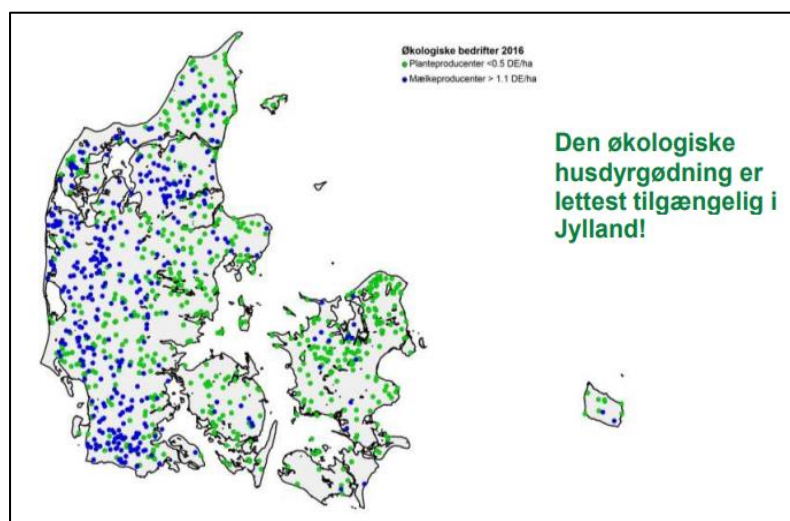
Med baggrund i ovenstående analyse af manglende adgang til husdyrgødning i Østdanmark findes det sandsynligt, at en stigende omlægning i denne del af landet forudsætter adgang til andre former for organiske næringsstoffer, hvis de politiske målsætninger om fordobling af økologisk certificeret landbrugsareal skal kunne realiseres. Økologien har som produktionsform en iboende, ideologisk drevet lyst til at skabe kredsløb og recirkulere ressourcer. Man ønsker dermed at levere på nogle af de samme dogmer, som 'cirkulær økonomi' og den grønne omstilling mere generelt vil levere på

(Laursen, 2022). Særligt madaffald fra danske husholdninger har, ved returnering som gødningsmiddel til økologisk landbrugsjord, potentiale til at løse nogle af de næringsstofudfordringer, som særligt økologer i det østdanske står med.

I denne rapport stilles skarpt på de nye værdikæder, der vil opstå, når det økologiske areal øges, og disses næringsstofmangel forsøges tilgodeset. Værdien af værdikæderne vurderes ud fra et økonomisk og et næringsstofregnskabsmæssigt perspektiv.

Den økologiske næringsstofsituation

Som allerede afdækket tidligere er husdyrtrykket i landbruget (målt på antal dyreenheder) stigende i store dele af Jylland og faldende øst for Lillebælt. Fordelingen mellem økologiske mælke- og planteproducenter kan ses på figur 3. Figuren viser tydeligt, at mælkeproducenterne er koncentreret i Jylland. Den lave husdyrtæthed på Sjælland gør også, at mange planteavlere i den del af landet vælger den lavere gødningskvote, hvilket ofte medfører suboptimale forhold for kulturplanterne. Udtræk fra gødningsregnskaberne (SEGES Innovation) viser desuden, at Sjælland er den landsdel, hvor økologiske bedrifter indberetter det laveste forbrug af kvælstof pr. ha.



Figur 3: Økologiske bedrifter i 2016. Blå markeringer er mælkeproducenter (>1,1 DE/ha) og grøn markering er planteproducenter (<0,5 DE/ha)
Kilde: Lars Holdensen, Landbrug & Fødevarer, 2016.

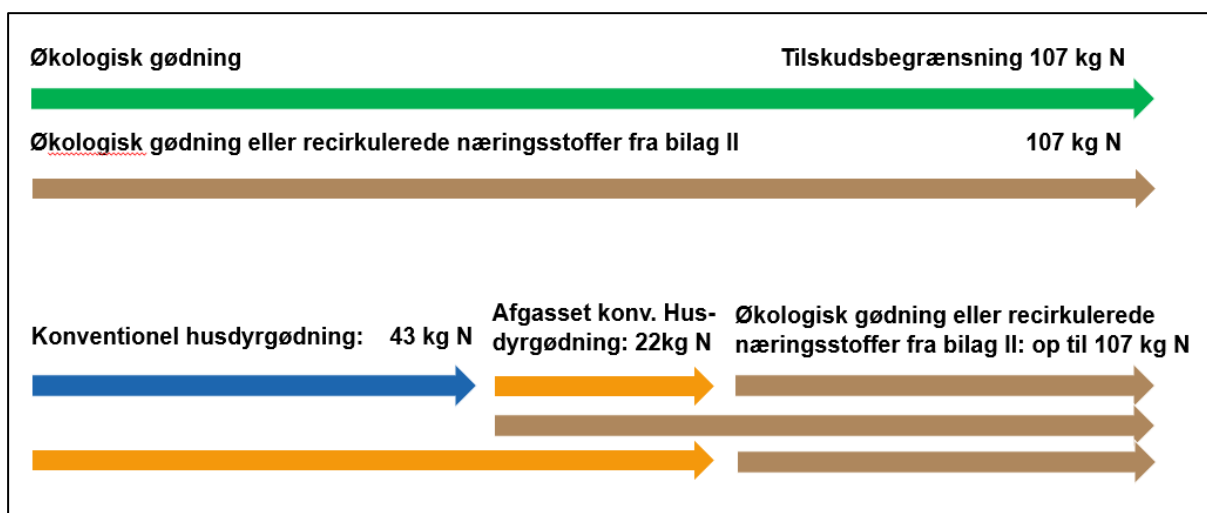
Landmændenes behov for gødning og betalingsvilligheden herfor er afdækket i en undersøgelse blandt udvalgte økologiske planteavlere på Sjælland om deres syn på madaffald som gødning (Bengtsson et al., 2019). Undersøgelsen viser, at størstedelen af de adspurgte landmænd tilføjer mindre end de på daværende tidspunkt tilladte 100 kg NH₄-N pr. ha, som de maksimalt må tilføre, hvis de samtidig vil modtage arealtilskud. 70 pct. af undersøgelsens deltagere benytter sig af en tilskudsordning, hvor man modtager ekstra arealtilskud mod at forpligte sig til maksimalt at tilføre 65 kg NH₄-N pr. ha (målt som et gennemsnit af bedriftens harmoniareal). Ubehandlet konventionel husdyrgødning må, som reglerne er for nuværende, benyttes med op til 43 kg NH₄-N (eller udnyttet N) pr. ha.

Ny gødningsmodel

Økologiske landmænd må bruge konventionel husdyrgødning, og i mange tilfælde er det ikke i praksis muligt at klare sig uden 'hjælp' fra denne driftsform. Man har fra erhvervets side i en årrække ønsket at begrænse brugen af den konventionelle husdyrgødning, og fra 1. august 2022 er det lykkedes at

indføre en model, som vil gøre netop det. Formålet med modellen er, foruden at reducere forbruget af konventionel husdyrgødning, også at give næringsstoffer fra recirkulerede produkter en højere prioritet som gødning i den økologiske planteavl. Begge disse forhold er ikke præcist afgrænsede i økologireglerne, og det har derfor krævet en anden form for regulering.

De nye retningslinjer har status af en "brancheanbefaling". En brancheanbefaling er en række supplerende krav, som økologierhvervet (Landbrug & Fødevarer og Økologisk Landsforening) anbefaler mejerier og slagterier at stille til deres leverandører. Oftest har disse anbefalinger vedrørt dyrevelfærd, men i dette tilfælde gælder det brug af konventionel husdyrgødning på bedrifter, der direkte eller indirekte medvirker til produktion af økologisk kød eller mælk. Brancheanbefalingerne omfatter på den måde alle, der producerer foder eller strøelse til mælke- og kødproducenter.



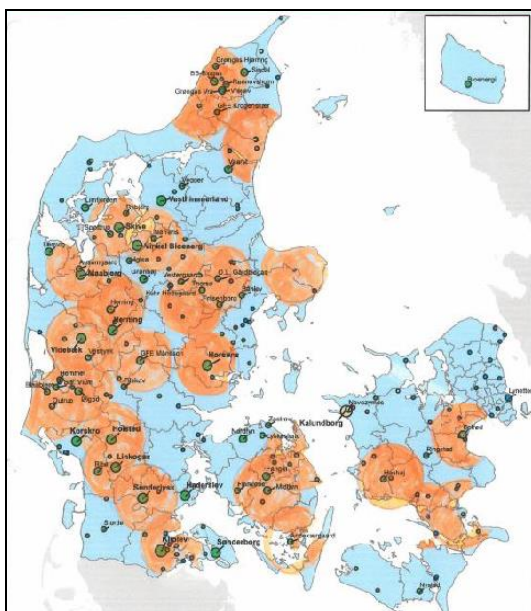
Figur 4: Grafisk fremstilling af tilladte tilførte mængder af forskellig slags gødning på certificeret økologiske landbrugsarealer, der er underlagt nye brancheanbefalinger (træder i kraft januar 2023). Grøn pil: brug af økologiske gødninger op til gældende tilskudsbegrænsning. Brune pile: brug af økologiske eller recirkulerede gødninger fra Økologivejledningens bilag 2. Blå pil: tilladt tilført mængde af ubehandlet konventionel husdyrgødning. Gule pile: tilladt tilført mængde af afgasset konventionel husdyrgødning. Kilde: Sven Hermansen, Innovationscenter for Økologisk Landbrug.

I praksis betyder reglerne, at der for ubehandlet konventionel husdyrgødning maksimalt kan tildeles 43 kg $\text{NH}_4\text{-N}$ pr. ha. Hvis den konventionelle husdyrgødning er afgasset i et biogasanlæg, er den maksimalt tilladte tilførsel 65 kg $\text{NH}_4\text{-N}$ pr. ha. For alle andre tilladte gødningstyper, som er listet på økologivejledningens positivliste, bilag 2, kan der gødes op til gældende grænse for tilførsel af kvælstof. I praksis reguleres tilskud efter hhv. 65 og 107 kg $\text{NH}_4\text{-N}$ pr. ha. Det er illustreret på figur 4, hvor forskellige scenarier for gødningstilførsel vises.

Argumentet for at tillade øget tilførsel af konventionel husdyrgødning, hvis det er afgasset i et biogasanlæg, er, at der i biogasanlægget også som oftest tilføres forskelligartede produkter, der er recirkulerede – enten fra landbrugets egne produktioner (afgrøderester, grøngødning, halm), eller fra samfundet (kildesorteret madaffald, restprodukter fra andre fødevarerproduktioner). Med denne bestemmelse forventer man altså at fremme recirkulering af rest- og affaldsprodukter som gødning til økologiske landbrugsarealer.

Med anbefalingerne ønsker man også at understøtte biogasanlæg generelt, da de kan være med til at gøre det muligt for flere landmænd, at omlægge deres produktion og drive den økologisk. Den vanskelige næringsstofsituation mange steder i landet kan afhjælpes ved, at der opføres flere biogasanlæg, og at de eksisterende kun tilfører biomasse til anlægget, som må bruges til økologisk produktion. Figur 5 viser et kort over biogasanlæg i Danmark. De orange cirkler angiver en radius på 20 km omkring biogasanlæg, der i december 2022 kan levere gødning til økologisk planteavl. De 20 km repræsenterer et konservativt bud på, hvor langt væk biogasanlæg er interesserede i at afsætte gødningen,

som i gasproduktionen fungerer som et restprodukt. I praksis er størrelsen på cirklerne forskellige, og afstanden afhænger som oftest af, landmandens betalingsvillighed og dermed hvilke alternative muligheder, der er tilgængelige i lokalområdet.



Figur 5: Biogasanlæg, der kan levere afgasset gødning til økologisk dyrkning (pr. 1. januar 2022). De orange cirkler på kortet angiver en afstand på 20 km omkring biogasanlæg, der kan levere gødning til økologiske landbrugsarealer. Kilde: Innovationscenter for Økologisk Landbrug, 2022.

Forsigtighedsprincippet

Det står klart, at fortsat udvikling i den økologiske produktionsform kræver tilførsel af nye næringsstoffer. Disse næringsstoffer forventes i stor stil at komme fra rest- og affaldsprodukter. Præmissen for tildeling af rest- og affaldsprodukter til økologiske landbrugsarealer er, foruden øget næringsstofftilførsel, at undgå at gå på kompromis med sundhed og sikkerhed for dyrkningsjord, afgrøder, vandmiljø, klima, og hvad der ellers måtte kunne påvirkes negativt. Forsigtighedsprincippet, der er et af de principper, som økologien bygger på, kræver, at de nye næringsstoffer er rene og lever op til ovenstående økologiske målsætninger (Laursen, 2022). Det betyder i dette tilfælde, at man begrænser tilførsel af tungmetaller, mikroplast og andre miljøfremmede stoffer i så høj grad som muligt. Rent lovgivningsmæssigt har tilførsel af rest- og affaldsprodukter til landbrugsarealer ført til en risikovurdering for de væsentligste kategorier af forurenende stoffer, og en efterfølgende implementering af grænseværdier. Grænseværdierne definerer det indhold/de koncentrationer, et produkt maksimalt må indeholde for at kunne bruges til jordbrugsformål.

Landmandens holdning til recirkulerede næringsstoffer

Hos Bengtsson et al., 2019 præsenteres resultater fra en mindre undersøgelse blandt økologiske planteavlere fra Østdanmark, som udfordres på deres ønske om at bruge madaffald som gødning på deres landbrugsarealer. De adspurgte landmænd repræsenterer primært større økologiske planteavlsbrug, og de opdyrker tilsammen cirka 37 pct. af det samlede økologiske planteavlsareal på Sjælland¹. De deltagende landmænd vurderes på den baggrund i tilfredsstillende grad at repræsenterer professionelle økologiske planteavlere på Sjælland. Det konkluderes i undersøgelsen, at alle deltagende landmænd gerne aftager gødningsprodukter med oprindelse i en affaldsproduktion, og at de enten gør det for at optimere næringsstofftildelingen eller for at udfase brug af konventionel husdyrgødning, som alle

¹ Planteavlerne opdyrker tilsammen 5.352 ud af 14.561 ha økologisk planteavl på Sjælland. "Planteavl" dækker over kategorierne: "specialiseret planteproduktion" og "foderproduktion".

er helt eller delvist afhængige af. Landmændenes velvilje over for brug af recirkuleret madaffald som gødning understreges af, at de prissætter næringsstoffer derfra højere end næringsstoffer fra konventionel husdyrgødning og fra handelsgødning. Der er dog blandt landmændene stor opmærksomhed på produktets renhed, og særligt plast er det miljøfremmede stof, de kræver fokus på. Den potentielle forekomst af urenheder understreges som afgørende for, at produktet kan afsættes på økologiske arealer.

Kan recirkulering flytte økologien?

Afsnittet indeholder resultater fra et igangværende arbejde i forskningsprojektet 'Nutrient recycling for soil fertility and improved organic livelihood' (Fertihood), som endnu ikke er publiceret. Dermed udledes dette afsnit og tilføjes i en senere version i løbet af 2023.

Konsekvenser ved for lille næringsstoffildeling

I modsætning til mennesker, som har brug for vitaminer, kan planter lave alle de stoffer, de behøver, hvis de har adgang til en række simple elementer kaldet 'plantenæringsstoffer'. Jord og gødning frigiver næringsstoffer i form af opløste ioner til vandet imellem partiklerne i jorden, hvorfra planterødder aktivt tager dem op.

Afgrødeproduktion kræver balanceret tilførsel af næringsstoffer

Afgrødeproduktion er afhængig af eksterne input af næringsstoffer, da plantevækst og efterfølgende høst af afgrøder fjerner næringsstoffer fra opdyrkede jorde. Selvom planter har rigeligt af de fleste eller hovedparten af næringsstoffer til rådighed, begrænser manglen på bare ét næringsstof plantevæksten. Det betyder i praksis, at det er vigtigt at afgrøder har adgang til næringsstoffer i den rette balance for optimal vækst. Det mest ekstreme eksempel på dette princip er forholdet imellem plantenæringsstofferne molybdæn og nitrogen. Planter skal have molybdæn for at gro, men der er i gennemsnit kun et molybdænmolekyle for hver million nitrogenmolekyler i plantevæv (Epstien, 1965). Derfor er planter behov for tilførsel af molybdæn væsentligt mindre end behovet for nitrogen. Dog kan mangel på ethvert plantenæringsstof, deriblandt molybdæn, begrænse planter vækst. Hvilket næringsstof, som mangler, afhænger af planteart, jordtype, gødningshistorik og klima. I praksis begrænses vækst af afgrøder dog oftest af mangel på makronæringsstofferne nitrogen, fosfor eller kalium. Da disse næringsstoffer udgør flere procent af plantemassen, fratrækker man store mængder af dem fra dyrkningsfladen ved høst.

Mangel på kalium gør afgrøder mindre modstandsdygtige over for tørke

Kalium er essentiel for flere biokemiske processer i planter herunder evnen til at regulere vandtab fra blade. Kalium er derfor vigtig for planter vandbalance og modstandsdygtighed over for tørke. Planter optager CO₂ fra atmosfæren til fotosyntese igennem organeller i bladene kaldet stomata. Planter lukker sine stomata, når de oplever knaphed på vand, selvom de har gavn af ekstra CO₂ til fotosyntese. Det gør de, fordi atmosfæren inde i bladene er fuldstændig vandmættet, og vanddamp strømmer ud igennem åbne stomata. I tørre perioder vil planter derfor i højere grad holde stomata lukket for at mindske vandtab og acceptere at modtage mindre CO₂ til fotosyntese. Kontrollen af stomatas åbning og lukning er afhængig af en mekanisme, hvor kalium spiller en essentiel rolle. Planter lukker og åbner stomata ved at transportere kalium ind eller ud af stomatalæberne sådan, at vand følger med. Begrænset tilførsel af kalium betyder derfor, at planter evne til at regulere åbning og lukning af stomata forringes. I praksis betyder det, at afgrøder, der mangler kalium, taber mere vand i en tørkesituation. Da vand ofte er en begrænsende faktor for vækst, giver god kaliumtilstand også bedre afgrødevækst i år med nedbør inden for danske klimanormaler.

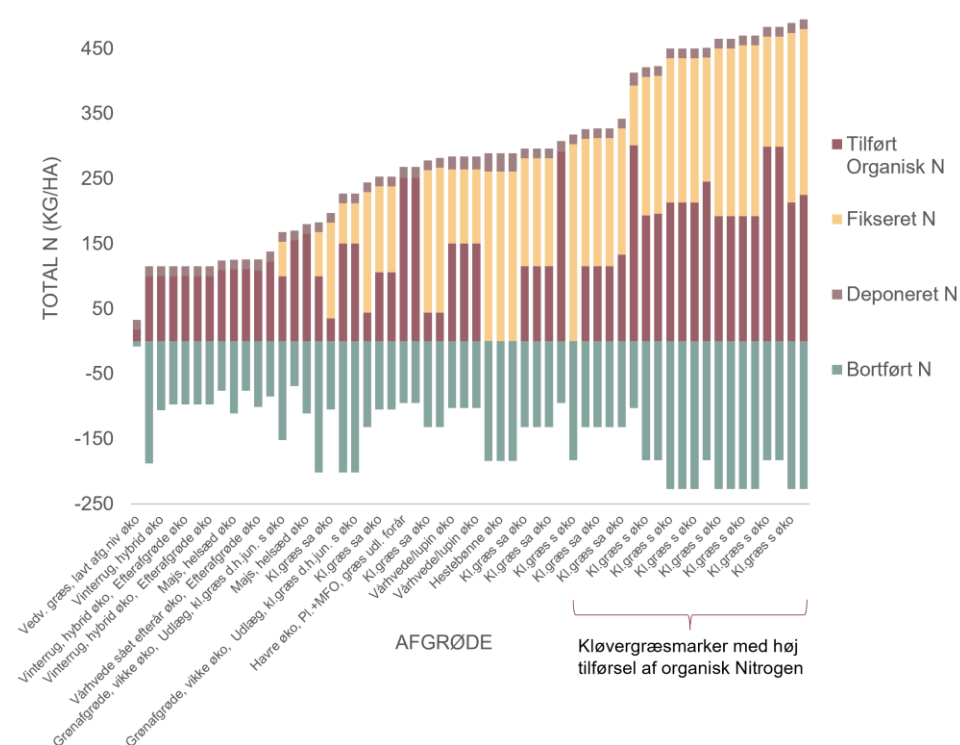
I økologisk produktion er det muligt at tilføre kalium i form af salte og reserver, som man graver op af miner, og der kendes ingen miljømæssige risici ved brug af kalium. Det er derfor oplagt og muligt for alle danske økologiske landmænd at avle planter med god kaliumstatus. Landmænd med sandede jorde er specielt opmærksomme på dette, og nogle gange udbringes endda kvælstofholdige husdyrgødninger for at gøde med kalium på kløvergræs, selv om denne afgrøde ikke kvitterer for det tildelte kvælstof.

Separeringsteknologi kan tilpasse recirkulerede gødninger til planter behov

Økologisk planteavl er ikke forskellig fra konventionel planteavl når det gælder behovet for næringsstoffer. I nogen grad er det også samme form, næringsstofferne gives på, men der er dog mere fokus på recirkulerede gødningstyper og husdyrgødning i økologien end i konventionel planteavl. Fælles for husdyrgødning og andre organiske gødninger, der anvendes i økologien, er, at de ofte indeholder flere forskellige næringsstoffer, hvilket kan give udfordringer for økologiske landmænds praktiske planlægning. Specielt på sandede jorde er kløvergræsmarker afhængige af input af kalium for god vækst, og

økologiske mælkeproducenter har en rig kaliumkilde i deres husdyrgødning. Derfor anvender mælkeproducenter gerne anseelige mængder af deres husdyrgødning på kløvergræsmarker (figur 6). Dog indeholder husdyrgødningen også en stor mængde kvælstof, som hæmmer aktiviteten af kvælstoffikserende bakterier, der lever i rodknolde på kløver. Det forklarer, hvorfor danske forsøg viser, at kvælstoftildeling til kløvergræs kun giver små merudbytter ved udbringning af store mængder husdyrgødning (Thers, 2022) Det udbragte kvælstof i husdyrgødning spildes således i en udbytte-, miljø- og cirkulær sammenhæng, da det er rimeligt at antage, at en stor andel af det tildelte kvælstof udvaskes til omkringliggende vandmiljø.

I en cirkulær analyse af denne praksis mangler enten teknologi til eller et marked for at udveksle husdyrgødningen. Hvis kvælstoffet i husdyrgødningen havde tilstrækkelig værdi, kunne det handles til planteavlere lokalt eller flyttes regionalt. Separerings- og koncentreringsteknologier kunne muliggøre deling af kvælstof i husdyrgødning regionalt ved at mindske omkostningerne til at flytte tung og vandholdig husdyrgødning. Disse teknologier findes i stor skala, men anvendes i dag sjældent af danske landmænd.

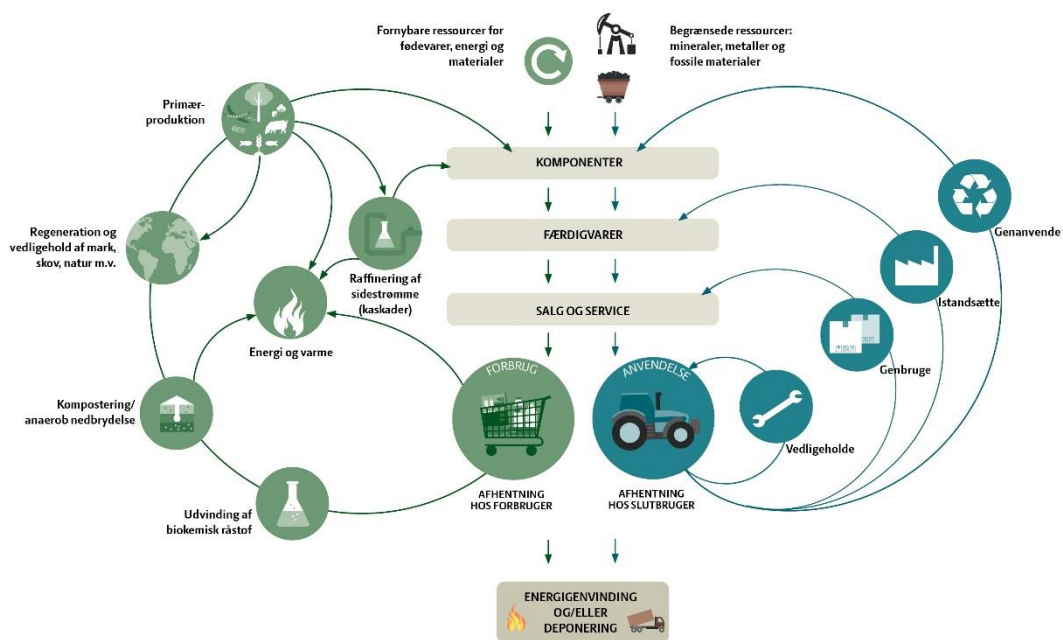


Figur 6: Tilført og bortført totalkvælstof (N) pr. hektar i en udvalgt dansk mælkeproducents markplan i 2021. Grønne søjler viser bortført N, røde søjler viser tilført organisk N, gule søjler viser N fixeret af bakterier i rødder på planter af afgrøder i ærteblomstfamilien (Hermansen, 2022).

Teknologier til separering vil også gavne fosforbalancen. I Danmark har vi mange steder et stort overskud af fosfor i vores jorde, hvilket har ført til relativt stramme miljøgrænser for tilførsel af fosfor. Derfor kan et højt fosforindhold relativt til kvælstof i recirkulerede gødningstyper og husdyrgødning betyde, at økologer rammer fosforgrænsen, før de kan tildele den mængde kvælstof, som giver et acceptabelt udbytte. Separeringsteknologier som skruepresser og centrifuger er derfor vigtige for recirkulerede produkters værdi og anvendelse i økologisk planteavl. Teknologierne findes efterhånden på nogle biogasanlæg, hvorfra gødning separeres og fordeles efter behov. Denne praksis forventes at udvikle sig yderligere i de kommende år.

Den cirkulære økonomi er trekantet

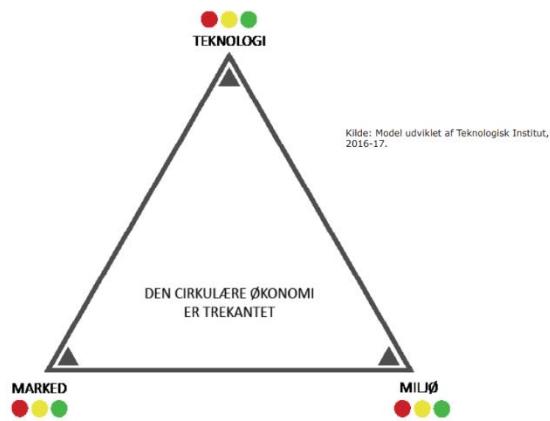
Den cirkulære økonomi er en tankegang, som bidrager til bæredygtig udvikling. Den udtrykker, at alle ressourcer bevarer deres værdi, selvom de forbruges og ikke automatisk bliver affald, som skal smides væk, forbrændes eller på andre måde skaffes af vejen. Dette gøres ved at genanvende, reparere og effektivisere brugen af forskellige produkter og materialer, så de får en lang levetid, og holdes inde i ressourcekredsløbet så længe som muligt. En forenklet model af Ellen MacArthur Foundations illustration for cirkulær økonomi præsenteres i figur 7, og her vises cirkulariteten i både den biologiske (venstre side) og den tekniske cyklus (højre side). I landbruget opnås ressourceeffektivitet og cirkularitet ved at udnytte de enkelte afgrøder og produkter til så mange formål og produktioner som muligt. På den måde mindskes tab i produktionen.



Figur 7: Forenklet model af cirkulær økonomi i landbruget. Egen tilvirkning efter [Ellen MacArthur Foundation](#). Kilde: Søren Bisp, SEGES Innovation.

Den cirkulære økonomi er imidlertid også trekantet (Jørgensen et al., 2021). Trekantet-heden skyldes afhængighed af, at tre forskellige forhold er opfyldt, for at værdikæderne i den cirkulære økonomi kan være velfungerende. Der er tale om følgende barrierer for cirkularitet: Rådighed over moden **teknologi**, som kan håndtere, sortere, opgradere, upcycle, reparere i en tilfredsstillende grad eller kvalitet, en positiv **miljø-/klimamæssig** effekt, hvor bedst mulige valg forsøges truffet af værdikædeaktøren, samt et **marked**, der kan muliggøre et økonomisk overskud afhængig af almindelige markedskræfter såsom efterspørgsel, kvalitet, transport, pris mv.

På figur 8 er trekantet-heden illustreret som et lyskryds for alle tre ovennævnte forhold (Sørensen & Hansen, 2017). Der kræves således grønt lys for alle forhold, for at værdikæderne kan fungere optimalt.



Figur 8: Den cirkulære økonomi er trekantet. Udviklet af Teknologisk Institut, 2016-17.

Kilde: Sørensen & Hansen, 2017.

Hvor den cirkulære økonomi i sin simpleste form er letforståelig og intuitiv bliver værdikædebetragtnin-
ger omkring den cirkulære økonomi hurtigt komplekse. Tankegangen omkring den trekantede model
skal i det følgende hjælpe med - ud fra en vurdering af værdikæder - at kaste lys over cirkulariteten i
genanvendelse af madaffald samt restprodukter fra fødevarerindustrien som gødning til økologiske
marker.

Madaffald fra byerne retur til marken

Som beskrevet i tidligere afsnit er knaphed på næringsstoffer en barriere for fortsat omlægning til økologisk landbrugsproduktion. Opfyldelsen af politiske målsætninger ser ud til at afhænge helt af erhvervets evne til at finde og opfinde nye organiske gødninger, så der er næringsstoffer nok til at opretholde en klima- og ressourceeffektiv produktion. Med udgangspunkt i et ønske om et forholdsvis større økologisk landbrugsareal, økologernes søgen efter og behov for næringsstoffer samt økologiens ideologisk drevne lyst til recirkulering opstår et fokus på de rest- og affaldsprodukter, der findes i samfundet. De fleste restprodukter anvendes i dag til energiproduktion el.lign.

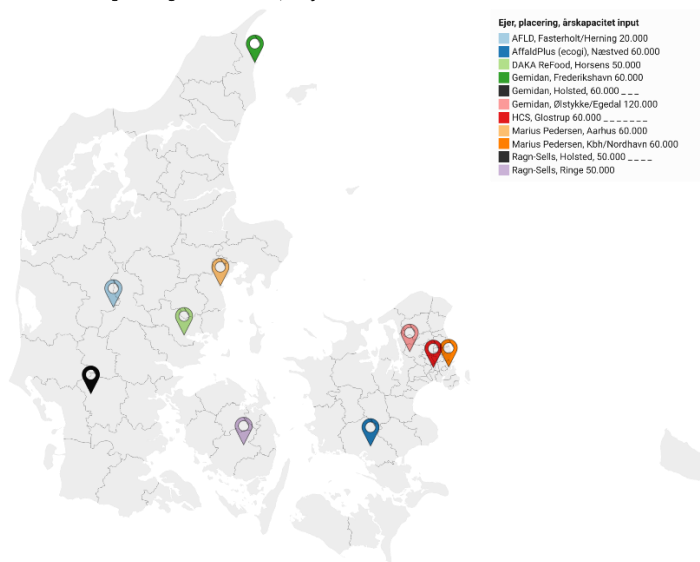
Kildesorteret madaffald er en af de fraktioner, som først i nyere tid er opstået som et egentligt produkt, og som har så stor tonnage og tilgængelighed, at det er en relevant handelsvare. Fra 1. januar 2023 skal alle kommuner have igangsat udsortering af affald i 10 fraktioner (Miljøstyrelsen, 2022), og det organiske affald, madaffaldet, er en af disse.

Værdikæderne omkring produktion af gas og gødning af indsamlet madaffald undersøges i det følgende ud fra betragtningen om trekantet-heden i den cirkulære økonomi.

Teknologi: logistik og uønskede stoffer

Madaffald indsamles via kommunal indsamlingsordning, og forarbejdes derefter på et forbehandlingsanlæg. Her pulpes og varmebehandles madaffaldet for at sikre homogenitet og eliminere eventuel smitterisiko. Derfra afsættes pulpen til biogasanlæg, hvor det føres ind i reaktoren – i Danmark som oftest sammen med andet organisk materiale som husdyrgødning og planterester fra landbruget. Herefter opholder blandingen sig i biogasanlæggets reaktor i nogle uger, hvor det afgasses. Produktet er biogas, som man på anlægget kan opgradere til en grøn naturgas, som kan afsættes på fjernvarmenettet. Restproduktet fra gasproduktionen – ofte omtalt som biogasgylle – kan efterfølgende anvendes som gødning i landbruget.

Forbehandlingsanlæg til madaffald, maj 2021



Figur 9: De 11 eksisterende forbehandlingsanlæg til behandling og pulpning af kildesorteret madaffald, juni 2021.

Kilde: DAKOFA, 2021.

En opgørelse foretaget af Innovationscenter for Økologisk Landbrug i 2021 samt rundspørge blandt enkelte forbehandlingsanlæg viser, at der i Danmark er et relativt velfungerende net af forbehandlingsanlæg, som har stor kapacitet. Dog fører deres geografiske placering til logistiske udfordringer, da disse er placeret suboptimalt i forhold til, hvor affaldet produceres. Affald fra store dele af Midtjylland er fx i de seneste år transporteret til Holsted ved Vejen eller til Frederikshavn for at blive behandlet i et forbehandlingsanlæg. DAKOFA har i maj 2021 opgjort årskapaciteten på pulpe-anlæggene i Danmark,

og status dengang var, at der findes 11 forbehandlingsanlæg (figur 9), der kan behandle indsamlet madaffald og pulpe det, så det er klargjort til bioforgasning. Det vurderes her, at der i de eksisterende forbehandlingsanlæg er kapacitet til at behandle 72-87 pct. af al madaffald produceret i husholdninger og servicesektor i Danmark (DAKOFA, 2021). Infrastrukturen på området forventes de kommende år at blive udviklet således, at flere kommuner og affaldsselskaber vil presse på for mere bynære anlæg. Bl.a. skulle flere af de større østjyske byer omkring Aarhus være i gang med at forberede opførelse af et nyt forbehandlingsanlæg sammen med den aktør, der har vundet udbuddet af affald i området.

Foruden logistiske udfordringer med indsamling og transport af affald til potentielt fjerntliggende forbehandlingsanlæg udfordres forbehandlingsanlæggene af kommunernes valg af indsamlingsposer. Den enkelte kommunes valg af indsamlingsposer beror ofte på både økonomiske og politiske overvejelser. Økonomisk, fordi indkøb af indsamlingsposer er en omkostningstung post i det samlede budget for indsamling af madaffald, og fordi der er stor forskel på, hvad forskellige posetyper koster i indkøb. Valg af indsamlingspose synes ofte at blive en politisk diskussion, fordi der her kan foretages et såkaldt 'grønt' valg: Et mindretal af danske kommuner - herunder bl.a. Københavns Kommune - indsamler madaffald i bionedbrydelige plastikposer. Disse adskiller sig fra almindelige indsamlingsposer i fossil plast ved i stedet at være baseret udelukkende på majs- eller kartoffelstivelse (COWI, 2017). Ifølge fabrikanten nedbrydes bionedbrydeligt plast over relativt kort tid og vil derfor ikke være årsag til plastforurening, når gødningen udbringes på landbrugsjord. Posevalgets betydning for indholdet af fysiske urenheder i pulpen blev i 2017 undersøgt, og her fandt man, at der i pulpen genfindes mere indsamlingspose efter forbehandling ved brug af bionedbrydelige poser sammenlignet med almindelige fossile plastposer. Det skyldes, at de bionedbrydelige indsamlingsposer opfører sig anderledes i forbehandlingsanlæggene og er besværlige at åbne og trække fra hinanden. De bionedbrydelige poser trevler og er svære at udsortere (COWI, 2017). Besøg hos en række danske forbehandlingsanlæg giver samme indtryk og enslydende tilbagemeldinger. Posevalg kan altså potentielt udgøre en teknologisk udfordring i forbehandlingsanlæggene i forhold til at levere et produkt af tilfredsstillende kvalitet.

Marked: madaffald er en efterspurgt ressource

Der er udbudspligt for kommunernes indsamlede madaffald med frist senest 1. juli 2023, og affaldet afsættes derfor til et åbent marked (Dansk Affaldsforening, 2020). Det betyder, at der i løbet af 2023 kommer pulp fra kildesorteret madaffald på markedet fra forventeligt alle landets kommuner. Det er primært biogasanlæg, der har en økonomisk interesse i denne biomasse, da den er forholdsvis energitæt og har et stort gaspotentiale (Arun, 2020).

I SEGES Innovation er bioøkonomichef, Lars Villadsgaard Toft da heller ikke i tvivl om, at den øgede mængde madaffald på markedet er attraktivt for et stigende antal biogasanlæg, fordi det højner produktionen af biogas:

"Madaffald er en af de nyere biomasser, der er med til at løfte biogasproduktionen, og som gør det muligt for flere biogasanlæg at levere til økologiske planteavlere"

– Lars Villadsgaard Toft, Bioøkonomichef, SEGES Innovation

Ultimo 2022 udgør gas fra biogasproduktion 32,6 pct. af gassen i gasnettet i Danmark. Resten stammer fra fossil naturgas. Det er en voldsom stigning, da andelen af gas fra biogas i begyndelsen af 2020 blot var 10,9 pct. (Energinet, 2022). Energikrisen og konflikten med Rusland er en del af forklaringen på, hvorfor danskproduceret biogas fylder så meget i det danske gasnet, men det er langt fra hele forklaringen, da andelen er steget jævnt siden januar 2020. Der er intet, der tyder på, at produktionen af biogas til det danske gasnet vil falde i den kommende tid, og markedet for produktion og afsætning af biogas anses dermed for at være sikkert.

Som beskrevet i tidligere afsnit af denne rapport er en af de største barrierer for omlægning af landbrugsarealer til økologisk produktion adgangen til næringsstoffer. Som det også tidligere er berettet, bliver næringsstoffer, der må bruges på økologiske arealer, lettere tilgængelige, hvis man kan modtage gødning fra et biogasanlæg, der udelukkende tilfører biomasser, der figurerer på økologivejledningens positivliste, bilag 2 (Landbrugsstyrelsen, 2022b). Derudover er økologer incitament til at betale for gødning stor, da næringsstoffer i denne produktionsform generelt er mere værd. Det er de både pga. højere gennemsnitlig afsætningspris på afgrøder, og fordi udbuddet er væsentligt mindre. Der findes ikke et konkurrencedygtigt alternativ til husdyrgødning, som kunstgødning er i konventionel planteavl. Landsforsøg fra 2019 og 2020 viser desuden, at biogasgødning baseret på kildesorteret madaffald – både med og uden opblanding med husdyrgødning ved afgangningen – har en gødningsværdi og kvælstofrespons svarende til svinegylle (SEGES, 2020). Derudover er håndtering, udbringning og konsistens af biogasgødning baseret på madaffald den samme som for den husdyrgødning landmanden kender, hvilket gør overgang til biogasgødningen uproblematisk.

Uden for de husdyrtætte områder i det sydlige, nordlige og vestlige Jylland er næringsstoffer en mangelvare, og det fører til et stort potentiale for afsætning af biogasgødning til økologiske planteavlere. Bengtsson et al., 2019, beskriver betalingsvilligheden blandt økologiske planteavlere på Sjælland og sammenligner priserne for konventionelle næringsstoffer med næringsstoffer tilladt til brug i økologisk planteavl. Resultaterne viser entydigt, at markedet for afsætning af gødning på Sjælland er stort. Og det vurderes også, at et større gødningsudbud blot vil føre til yderligere omlægning til økologisk produktion og dermed en forstørret efterspørgsel på gødning fra biogasanlæg. I de områder af Danmark, hvor der ikke er ret mange husdyr, synes markedet for afsætning af biogasgødning altså langt fra mættet.

Miljø: fortrængning af fossil energi, mindre tab af næringsstoffer samt uønskede stoffer

Med udgangspunkt i modellen for cirkulær økonomi som præsenteret hos Ellen MacArthur Foundation (figur 6), er genanvendelse frem for afbrænding et opgør med den lineære tankegang og et skridt i retningen af øget ressourceeffektivitet. Det gælder også casen med indsamling og genanvendelse i biogasanlæg af kildesorteret madaffald, som ellers som oftest blev sendt til afbrænding på et kraftvarmeverk med energiproduktion for øje. Genanvendelse og ressourceoptimering er som udgangspunkt et skridt i en bæredygtig retning, som på forskellig vis skåner miljø og klima. Først og fremmest skabes i biogasproduktionen vedvarende energi, der kan erstatte fossil naturgas og andre ikke fornybare kilder til varme- eller elproduktion. Derudover har biogas nogle positive sideeffekter, som bl.a. inkluderer behandling af husdyrgødning med deraf følgende ofte større plantetilgængelighed af gødningens næringsstoffer. Det sikrer bedre udnyttelse af næringsstofferne og mindre risiko for tab til vandmiljø eller til atmosfæren som drivhusgas. Biogasproduktion har et overvejende positivt klimaaftryk, og det kildesorterede madaffald er med til at underbygge denne produktion.

Som tidligere omtalt vil mere biogasproduktion sandsynligvis medføre en større grad af omlægning af landbrugsjord til økologisk produktion. Ved økologisk produktion tilføres i gennemsnit langt mindre gødning pr. hektar, og risikoen for overgødsning og tab til atmosfæren eller til vandmiljøet forventes dermed reduceret. Desuden er forbud mod brug af kemiske sprøjtemidler associeret med mindre risiko for forurening af landets grundvandsreserver og mindre skade på biodiversiteten generelt. Til gengæld produceres ofte et mindre udbytte pr. arealenhed i økologisk planteproduktion, hvilket kan være årsag til øget klimabelastning. Mere landbrugsjord omlagt til økologisk produktion er dermed som udgangspunkt forbundet med en formodet mindsket risiko for udvaskning, grundvandsforurening og skade på biodiversiteten (Knudsen et al., 2019), mens forskellen i klimabelastning er en større forskningsstridighed, som omhandler regnemetoder samt hvilke parametre, der inkluderes i udarbejdede livscyklusanalyser (Mogensen et al., 2022).

"Klimaaftrykket ved økologisk produktion er tilsvarende eller lavere end for tilsvarende konventionel produktion. Dog er forskellen mellem systemerne (læs: økologisk- eller konventionel driftsgren) langt mindre end variationen mellem gårde inden for hvert system".

– Julie Cherono Schmidt Henriksen, chefkonsulent, Innovationscenter for Økologisk Landbrug

Foruden de overvejende positive klimaeffekter af øget biogasproduktion og mere omlægning af landbrugsjord til økologisk produktion er udsortering hos borgeren og forbehandlingsanlæggets udfordringer med at levere et produkt uden plast fortsat et emne til diskussion.

Madaffald som bruges til gødskningsformål i landbruget, indeholder tungmetaller, og man har i den økologiske lovgivning skærpet grænseværdierne sammenlignet med gældende generelle lovgivning på området (Affald til jord bekendtgørelsen). Tilførsel af tungmetaller via afgasset madaffald betragtes ikke som nogen stor miljømæssig udfordring (Hermansen og Laursen, 2020).

For fysiske urenheder som bl.a. plast gælder ligeledes grænseværdier for, hvad der tolereres i pulpen. Her opgøres grænseværdierne ud fra vægtprocent og areal. Det tillades, at plast dækker 1 cm² pr. pct. tørstof i 1 liter pulp og 0,15 vægtprocent af tørstof. Hos Hermansen og Laursen (2020) beregnes grænseværdien på baggrund af markforsøg, hvor et afgasset gødningsprodukt baseret på 100 pct. madaffald blev afprøvet. I det tilfælde tillod lovgivningen med de førnævnte grænseværdier, at man ved en realistisk tildeling af 80 kg ammoniumkvælstof pr. ha i økologisk vårbyg tilførte plast svarende til dækning af 8,6 m² pr. ha. Analyser af det udbragte gødningsprodukt fra markforsøget viste en mængde plast svarende til dækning af 2,9 m² pr. ha, altså under grænseværdien. Der er kun lovgivning for plast ned til en størrelse på 2 mm. Plast under 2 mm kan betegnes som mikroplast.

For mikroplast er der intet gældende regelsæt med grænseværdier, der begrænser tildelingen. Det er uklart hvor meget mikroplast, der er i afgasset madaffald, ligesom det også er uklart, hvad de miljømæssige konsekvenser er ved tildeling til landbrugsjord. Johansen et al. 2022 redegør for den videnskabelige viden på området i et nyere metastudie, og her vises tydeligt, at der er tale om et relativt nyt og uudforsket område, som forskningen kun så småt har taget hul på. I studiet konkluderes bl.a., at det er uklart, om mikroplast fra restprodukter bidrager væsentligt til forurening af landbrugsjord sammenlignet med andre kilder (landbrugsplast, henkastet affald, jordbearbejdning mv.). Ligeledes er nedbrydelighed af mikroplast i landbrugsjord ikke-belyst. Konsekvenser ved øget tilførsel af mikroplast er forsøgt vist i laboratoriestudier, og her har man fundet, at det *kan* have en negativ effekt på jordlevende organismer, på plantevækst (oftest indirekte) samt på det mikrobielle samfund generelt. Disse forsøg er dog gennemført med højere koncentration af mikroplast i jorden, end der observeres i dansk landbrugsjord. Som modsvar til studier, der insinuerer potentiel høj skadelighed ved tilførsel af mikroplast i jord, findes Københavns Universitets langvarige CRUCIAL-forsøg på Højbakkegård på Sjælland. Her er tilført komposteret husholdningsaffald og spildevandsslam indeholdende mikroplast i 20 år i højere niveauer end tilladt i praksis svarende til over 100 års tilførsel. Dermed forventes højere disponering til mikroplastens skadelige effekter, men her er ikke observeret negativ effekt på regnorme, planter evne til kvælstoffiksering osv. eller uønskede cocktaileffekter af mikroplast sammen med andre miljøfremmede stoffer. Derimod er øget kulstofindhold og forbedret mikroliv registreret. Konsekvensen af mikroplast på jordlevende organismer er et vigtigt fremtidigt indsatsområde i forsøget og i forskningen på området generelt, da der her vurderes at være stort potentiale for forbedret viden.

På baggrund af ovenstående vurderes der ikke pt. at være viden til rådighed der diskvalificerer værdikæden ud fra en miljømæssig betragtning. Dette kan ændre sig, hvis det viser sig, at mikroplastproblematikken er mere alvorlig, end den i første omgang vurderes at være.

Konkluderende betragtninger

Det konkluderes på baggrund af ovenstående vurdering af værdikæderne omkring produktion af gødning til økologer på basis af madaffald indsamlet fra husholdninger, at genanvendelsen med

nuværende viden er helt i tråd med den cirkulære økonomi. Værdikæden fra konsumering og kildesortering til energi og gødning til økologisk planteproduktion via biogasanlæg er langt mere værdifuld end de tidligere kæder, hvor biogas og øget økologisk areal og deraf følgende ønske om/behov for øget recirkulering, ikke var en del af værdikæden. Den forøgede værdi vurderes både at gælde økonomi (økologiske landmænd og afledte erhverv, biogasanlæg), miljø og klima.

Fremtidige værdikæder for genanvendelse af sidestrømme

Fremtidens økologiske planteavlere får udfordringer med at finde nok næringsstoffer til deres afgrøder, men det løses potentielt af nye værdikæder for biomasser til biogasanlæg. Gødning, som økologer må anvende, er hovedsageligt husdyrgødning, og det er derfor udfordrende at finde næringsstoffer nok i Østdanmark, hvor husdyrtrykket er lavt. Der er derfor et stort potentiale i alternative gødninger fra nye værdikæder. Økologer anvender i dag sidestrømme og affaldsprodukter som protamylasse fra kartoffelforarbejdning og vinasse fra gærfermstilling som gødning. Værdikæderne for disse produkter eksisterer allerede, men som nye produktioner opstår, opstår også nye sidestrømme. Et godt eksempel herpå er insektproduktion, hvor affaldsproduktet 'fras' potentielt har værdi som gødning.

Slæt fra kløvergræs og efterafgrøder er de mest oplagte kandidater til nye værdikæder for genanvendelse af sidestrømme. Dette fordi økologer kan producere kløvergræs nok til at forsyne en fordobling af de økologiske arealer med næringsstoffer. Hvis kløvergræs og efterafgrøder i fremtiden produceres til biogas, bliver gødningen fra biogasanlæg en oplagt sidestrøm til en ny værdikæde for genanvendelse. Fælles for kløvergræs og efterafgrøder er, at de ud over gaspotentiale giver miljø-, klima- og agronomiske fordele i økologiske sædskifter. Økonomien er god ved at have kløvergræs i sædskiftet, fordi kløvergræs giver lavere input til driften, har gødningsvirkning i efterfølgende afgrøder og kan afsættes som foder til kvægbedrifter. I Østdanmark, hvor der er langt imellem kvægbedrifter, er afsætningsmuligheder for kløvergræs dog dårlige, og derfor hænger økonomien for nuværende dårligt sammen for økologiske planteavlere i denne del af landet.

Biogasanlæg kan skabe ny cirkulær værdikæde for økologer

Det kan nye biogasanlæg og den tilhørende nye værdikæde for anvendelse af restbiomasser som kløvergræs, lave om på. Der kan komme god økonomi i at afsætte kløvergræs og efterafgrøder med høj stub til biogas, hvis biogasanlæg og økologiske planteavlere finder sammen. Der er nemlig både et stort gaspotentiale i kløvergræs og efterafgrøder og en kemisk sammensætning, som passer godt til biogasproduktion. Ultimo 2023 udgav landbrugskonsulenter de første standardkontrakter med værdisætning af kløvergræs. Det tyder på, at der allerede nu afsættes kløvergræs til biogasanlæg, og det viser, at der er potentiale for nye værdikæder for kløvergræs og efterafgrøder.

Efter forgasningen skal biogasanlæggene af med den biomasse, som ikke blev til gas, og det tilbageføres typisk uden beregning som gødningskilde til landmændenes afgrøder. Det er her, cirklen slutes, når hovedafgrøder og mark får glæde af den tilbageværende, opkoncentrerede og mere plantetilgængelige næring fra kløvergræs og efterafgrøder.

Miljø- og klimamæssige fordele ved kløvergræs til biogasanlæg

Et større areal med kløvergræs og efterafgrøder vil give et større flow af næringsstoffer til økologiske planteavlere, og behandlingen af disse biomasser på biogasanlæg vil give mere effektive gødninger. Den nye værdikæde med kløver og efterafgrøder igennem biogasanlæg som gødningskilde giver derfor mulighed for omlægning af planteavlsbrug til økologi i områder uden husdyrbrug. Fraværet af husdyr og fraværet af handelsgødning, som produceres ved afbrænding af store mængder fossile brændstoffer, gør potentielt de afgrøder, der produceres i denne værdikæde, markant mere klimavenlige end afgrøder produceret i det konventionelle såvel som det nuværende økologiske næringsstofkredsløb. Udover at have et godt gaspotentiale kan kløvergræsmarker sanere sædskiftet for nogle typer af ukrudt og sparer derfor både drikkevand og insekt- og dyreliv for pesticider og mekanisk ukrudtsbekæmpelse. Efterafgrøder er et miljømæssigt virkemiddel, da de kan forhindre udvaskning af kvælstof til vandløb og kystnære farvande. Hvis de bruges rigtigt, optager efterafgrøder næringsstoffer i det typisk regnfulde danske efterår og vinter og afgiver dem til hovedafgrøden om foråret, efter at de er nedmuldet.

Barrierer for ny værdikæde for kløvergræs til biogas

I dag ligger biogasanlæg hovedsageligt i områder med høj koncentration af husdyr, da tilgængelighed af husdyrgødning som gylle og dybstrøelse har været grundstenen i biogasanlæggenes forsyning med biomasse. Det kan fortsat være en barriere for etablering af biogasanlæg, hvis der ikke er husdyr i et lokalområde. Det skyldes, at nye arealer med produktion af kløvergræs og efterafgrøder til biogas ikke eksisterer, fordi der ikke er afsætningsmuligheder for kløvergræs i områder uden stor koncentration af husdyr.

I de næste år vil også de sidste kommuner indføre sortering af husholdningsaffald, og det kan give store mængder kildesorteret madaffald i områder uden husdyr. Der er et meget stort gaspotentiale i kildesorteret madaffald (Arun, 2020), og det kan potentielt give mulighed for etablering af flere biogasanlæg i Østdanmark. Disse anlæg vil kunne facilitere vækst i den nye værdikæde for kløvergræs og biomasser.

Referencer

- Arun, K. I. T. (2020). *Optimal Anaerobic Digestion of the Organic Fraction of Source Separated Municipal Solid Waste*. Januar 2020. Ikke-offentliggjort specialeprojekt.
- Barral, A. (2019), *Stomata feel the pressure*. In "Nature Plants" pp. 5,244. <http://doi.org/c2v3>
- Bengtsson, S. O., Hermansen, S., Ingvorsen, B., Laursen, C (2019). "Notat: Kontakt til landmænd i de involverede kommuner på Sjælland". SEGES Økologi Innovation. April 2019. <https://projekt-varga.dk/wp-content/uploads/2019/08/VARGA-wp-3-notat.pdf>
- COWI (2017). *Posekvalitetens og materialets betydning for indholdet af fysiske urenheder i biopulp*. December 2017. <https://genanvend.mst.dk/media/191301/posekvalitetens-og-materialets-betydning-for-indholdet-af-fysiske-urenheder-i-biopulp.pdf>
- DAKOFA (2021). *Forbehandlingsanlæg til biopulp af madaffald*. Juni 2021. <https://dakofa.dk/element/forbehandlingsanlaeg-til-biopulp-af-madaffald/>
- Dansk Affaldsforening (2020). *Klimahandlingsplan for affaldssektoren*. Maj 2020. <https://www.ft.dk/samling/20191/almudel/KEF/bilag/311/2197888/index.htm>
- Energinet (2022). *Biogas via gasnettet*. <https://energinet.dk/Gas/Biogas/>
- Epstien, E. (1965). *Mineral metabolism*. In "Plant Biochemistry" (J. Bonner and J. E. Varner, eds.), pp. 438-466. Academic Press, London and Orlando.
- Finansministeriet (2021). *Aftale om grøn omstilling af dansk landbrug af 4. oktober 2021*. <https://fm.dk/media/25215/aftale-om-groen-omstilling-af-dansk-landbrug.pdf>
- Sven Hermansen (2022). Graf fremstillet af dataudtræk fra Mark Online fra udvalgt mælkeproducent.
- Hermansen, S., Laursen, C (2020). "Notat: Landmænds gevinst ved anvendelse af afgasset gødning baseret på kildesorteret madaffald fra husholdninger". SEGES Økologi Innovation. April 2020. https://projekt-varga.dk/wp-content/uploads/2020/06/VARGA-wp3-notat_Maj20.pdf
- Johansen, J. L., Magid, J., Vestergård, M., Palmqvist, A. (2022). *Omfang og effekter af mikroplast forurening i jord - med særligt fokus på recirkulering af affaldsprodukter*. Marts 2022. https://plen.ku.dk/raadgivning/rapporter/Omfang_og_effekter_af_mikro-plastik_forurening_i_jord_-_med_s_rligt_fokus_p_recirkulering_af_affaldsprodukter_FINAL_Alle.pdf
- Jørgensen, K., Christensen, A. T., Bisp, S., Sørensen, S. Y., Nielsen, C., Larsen, K. N. (2021). *Cirkulær økonomi i landbruget, metoder og perspektiver*. November 2021. https://projekter.seges.dk/-/media/projectreport/projectdocuments/promilleafgiftsfonden-for-landbrug/promilleafgiftsfonden-for-landbrug---2021/7970/sv_21_7970_ap2_cirkulaer_oekonomi_metode_og_perspektiver.ashx
- Knudsen, M. T., Dorca-Preda, T., Djomo, S. N., Peña, N., Padel, S., Smith, L. G., Zollitsch, W., Hörtenhuber, S., Hermansen, J. E. (2019). *The importance of including soil carbon changes, ecotoxicity and biodiversity impacts in environmental life cycle assessments of organic and*

conventional milk in Western Europe. Journal of Cleaner Production (2018), doi: 10.1016/j.jclepro.2018.12.273

Landbrug & Fødevarer (2021). *Ny økologiplan fra EU-Kommissionen er faldet på plads*. L&F. Marts 2021. <https://lf.dk/aktuelt/nyheder/2021/marts/ny-oekologiplan-fra-eu-kommissionen>

Landbrugsstyrelsen (2022). *Statistik over økologiske jordbrugsbedrifter 2021*. Marts 2022. https://lbst.dk/fileadmin/user_upload/NaturErhverv/Filer/Tvaergaaende/Oekologi/Statistik/Statistik_over_oekologisk_jordbrugsbedrifter_2021.pdf

Landbrugsstyrelsen (2022b). *Vejledning om økologisk jordbrugsproduktion*. Januar 2022. https://lbst.dk/fileadmin/user_upload/NaturErhverv/Filer/Tvaergaaende/Oekologi/OEkologivejledning_2022/OEkologivejledning_2022_nuvaerende_vers.3.pdf

Lars Holdensen, L&F. Udlånte slides. 2016.

Laursen, C. (2022). *Økologiens paradoks*. December 2022. https://icoel.dk/media/4aikxdttd/ap2-1-notat_oekologisk-produktion-i-den-cirkulaere-oekonomi_december-2022_final.pdf

Miljøstyrelsen – Husdyr (2016). *Udvikling i husdyrhold*. <https://mst.dk/media/93524/udviklingen-i-husdyrhold.pdf>

Mogensen L., Knudsen M. T., Hashemi F., Jensen A., Kristensen T. (2022). *Vidensyntese om livscyklusvurderinger og klimaeffektivitet i landbrugssektoren*. 91 sider. Rådgivningsrapport fra DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, Aarhus Universitet.

SEGES (2020). *Oversigt over Landsforsøgene 2020*. Afsnit: *Recirkulerede gødningsprodukter giver god gødningseffekt i vårbyg*, af Casper Laursen. Side 266-268. December 2020. https://www.landbrugsinfo.dk/-/media/landbrugsinfo/public/4/b/1/planter_landsforsogene_oversigt_over_landsforsogene_2020.pdf

Sørensen, S. Y., Hansen, M. E. (2017). *Den cirkulære økonomi i en dansk kontekst*. Hentet fra <https://www.teknologisk.dk/ydelser/den-cirkulaere-oekonomi-er-trekantet/39356>

Thers, H., Jensen, J. L., Rasmussen, J., Eriksen, J. (2022). *Grass-clover response to cattle slurry N-rates: Yield, clover proportion, protein concentration and estimated N₂-fixation*. Field Crops Research, 287, 2022 <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2022.108675>