

Kulstoflagring og biogasgylle	Ansvarlig	benp
	Oprettet	01-11-2023
Projekt: 8512 Få styr på kulstoffet i jorden (AP2)	Side	1 af 6

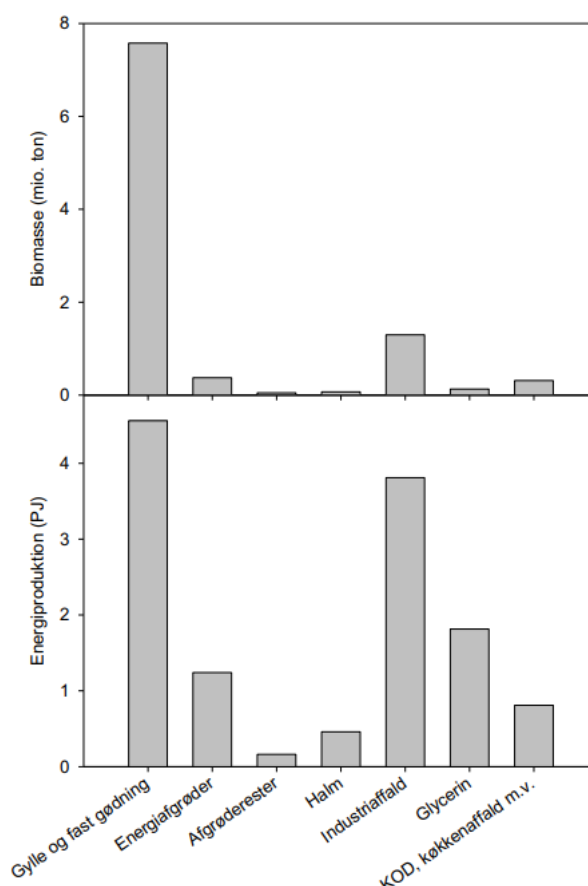
# Kulstoflagring og afgasset biomasse

## Introduktion

En stadig større del af husdyrgødningen i Danmark afgasses i et biogasanlæg, før det anvendes på marken. Et tilbagevendende spørgsmål omkring afgasset husdyrgødning er, om afgasningen af let omsættelige kulstofforbindelser leder til en øget stabilitet af det tilbageværende kulstof i gødningen og om det giver anledning til en større kulstoflagring end ikke afgasset husdyrgødning. Dette undersøges i det følgende.

Ved biogas forstås gas, som er produceret ved mikrobiel nedbrydning af organisk materiale. Processen foregår under iltfri forhold, og kun en del af kulstoffet i det organiske materiale omsættes til gas. I Danmark er biogasproduktionen centeret omkring husdyrgødning, men der afgasses også andre restprodukter fra for eksempel slagteriindustri eller husholdningsaffald. Ydermere suppleres med biomasse som halm og majs for at øge gasudbyttet. En landmand som leverer husdyrgødning til et biogasanlæg, får således et produkt retur, som er en blanding af husdyrgødning og det, som biogasanlægget er blevet fodret med i mellemtiden. Der er altså ikke tale om ren afgasset husdyrgødning.

Af figur 1 fremgår det, at selvom hovedparten af biomassen i biogasanlæg kommer fra husdyrgødning, bidrager de andre kilder med en stor andel af energiproduktionen.



Figur 1: Biomasse anvendt i biogas i 2018/19 og tilhørende energiproduktion. Fra Olesen et al. (2020).

## Kulstofstabilitet af afgasset biomasse i litteraturen

I et biogasanlæg omsættes dele af det tilførte organiske materiale og andelen af let nedbrydelige stoffer vil derfor falde. Det undersøges i det følgende, om dette leder til en større kulstoflagring end organisk materiale, som ikke har været afgasset. Det har ikke været muligt at finde langtidsstudier med tilførsel af biogas vs. ikke-biogasgylle til landbrugsjord. De oplyste studier er typisk inkubationsstudier, hvor der er tilført forskelligt organisk materiale og nedbrydningen er fulgt i under 1 år. Det har ikke været muligt at finde studier, hvor afgasset og ikke-afgasset husdyrgødning er undersøgt i marken med henblik på kulstoflagring. Inkubationsstudierne giver således en indikation af stabiliteten efter det første år, men der findes så vidt vides ikke nogen egentlige målinger i marken.

I forsøgene er der typisk målt en mineraliseringsrate af det tilførte kulstof i en given periode. Ved at modellere udviklingen i simple kinetiske modeller udregnes det, hvor meget kulstof der er tilbage efter f.eks. et år, og dette kulstof betegnes som stabiliseret, humificeret m.v. Teoretisk set vil en øget stabiliseret mængde lede til en øget kulstoflagring.

Thomsen et al. (2013) har sammenlignet mineraliseringen af ikke-afgasset og afgasset foder og husdyrgødning i et inkubationsstudie på ler og sandjord. Inkubationen varede 245 dage. Foderet brugt i forsøget bestod af 60% majsensilage, 21% lucerne og 18% rapskage og husdyrgødningen blev produceret af køer fodret med det samme foder. Henholdsvis foder og husdyrgødning er herefter også blevet afgasset. Det giver fire forskellige materialer - foder, husdyrgødning, afgasset foder og afgasset husdyrgødning. Resultatet af inkubationen er opsummeret i Tabel 1, hvor der vises et gennemsnit af begge jordtyper. Forsøget viser, at andelen af tilført kulstof som mineraliseres i jorden er størst i foder efterfulgt af husdyrgødning, afgasset foder og til sidst afgasset husdyrgødning. Afgasset foder har i dette forsøg en større stabilitet end husdyrgødning. Sagt med andre ord er afgasningen mere effektiv til at fjerne let nedbrydeligt kulstof end koens fordøjelsessystem. Ud fra nedbrydningsraterne beregnes, hvor stort kulstoffabet forventes at være i løbet af de første to år. Resultatet ses i tabel 1 og indikerer, at andelen af kulstof som er tilbage efter to år i landbrugsjorden er omtrent den samme for alle fire materialer, hvis der tages udgangspunkt i kulstofindholdet i udgangsmaterialet. Ser man på, hvor meget kulstof der er tilbage af det, som faktisk tilføres til jorden spænder det fra 14% til 76% af det tilførte for henholdsvis foder og afgasset husdyrgødning.

Dette forsøg indikerer:

- at afgasning leder til en større kulstofstabilitet end passage gennem koens fordøjelsessystem.
- at stabiliteten af kulstof i afgassede produkter øges betragteligt sammenlignet med ikke afgassede produkter og at kulstoflagringen pr. ton kulstof tilført marken derfor er højere for afgassede end ikke afgassede produkter.
- at kulstof tabt ved afgasning og fodring kompenseres af større stabilitet i produktet, således at kulstoflagringen som andel af det totale C indhold i udgangsmaterialet er den samme.

Tabel 1: Estimeret kulstofretention for de fire typer organisk materiale i Thomsen et al. (2013).

Organisk materiale	Total C før fodring og afgasning	Tilbageværende C efter fodring (% af C i foder)	Tilbageværende C efter afgasning	Estimeret mineralisering i jorden <sup>b</sup> (% af C tilført jorden)	C tilbage i jorden efter to år (% af C i foder)
Foder	100	100	100	86	14
Afgasset foder	100	100	20	42	12
Husdyrgødning		30 <sup>a</sup>	30	52	14
Afgasset husdyrgødning		30 <sup>a</sup>	16	24	12

<sup>a</sup> Omsætning på 70% i vommen.

<sup>b</sup> Baseret på kinetisk model.

I et andet studie har Nyang'au et al. (2022) ligeledes kigget på kulstofmineraliseringen efter tilførsel af ikke-afgassede og afgassede organiske materialer i et inkubationsforsøg. Her er dog også tale om produkter, hvor husdyrgødning og anden biomasse er blandet. Tre ikke-afgassede og 4 afgassede organiske materialer blev undersøgt. De tre ikke-afgassede var kløvergræsensilage, kvæggylle samt en blanding af kvæggylle og kløvergræs ensilage (75% kvæggylle). De afgassede biomasser kom fra to forskellige anlæg. Det ene anvendte den samme biomasse som blandingen af kvæggylle og majsensilage. Det andet anlæg anvendte en blanding af kvæggylle, svinegylle, dybstrøelse, hønsemøg og græs. Gyllen stod til sammen for 55% af inputtet. Begge de afgassede biomasser blev desuden udsat for en ekstra forgasningsproces.

Efter 212 dages inkubation ser de den største mineralisering i den faste biomasse og den mindste i ren kvæggylle. I tabel 2 ses, hvor meget af det tilførte kulstof, som forventes at være tilbage efter et år. Blandingen af fast biomasse og kvæggylle viser en stabilitet, som kun er lidt lavere end kvæggylle, hvilket nok skyldes at den største andel af blandingsproduktet var kvæggylle. De afgassede produkter ligger et sted mellem fast biomasse og ren kvæggylle og den ekstra afgasning har givet anledning til en lavere mineralisering. Resultaterne her indikerer at stabiliteten af kulstoffet i den afgassede biomasse påvirkes en del af den faste biomasse som tilføres idet den forventede kulstofretention efter et år er lavere end for kvæggylle som ikke er afgasset. Dette indikerer ifølge forfatterne også at afgasningen i et biogasanlæg er mindre effektivt til at omsætte kulstof end koens fordøjelsessystem. Stabiliteten af C i kvæggyllen er høj i dette forøg sammenlignet med Thomsen et al. (2013).

*Tabel 2: Estimeret tilbageværende kulstof efter et år af de syv typer organisk materiale fra Nyang'au et al. (2022) baseret på en kinetisk model.*

Behandling	C forventet tilbage efter et år (% af tilført)
Fast biomasse	26,4
Kvæggylle	53,5
Fast biomasse + kvæggylle*	48,2
Afgasset biomasse 1	28,7
Afgasset biomasse 1 + ekstra afgasning	46,6
Afgasset biomasse 2	35,2
Afgasset biomasse 2 + ekstra afgasning	41,0

\*Beregnet

Den tilbageværende kulstofandel efter to år er beregnet på samme måde som Thomsen et al. (2013) til 12-16% af det tilførte for de afgassede biomasser (tabel 3).

*Tabel 3: Estimeret kulstofretention for de fire typer organisk materiale i Nyang'au et al. (2022).*

Organisk materiale	Total C før afgasning	Tilbageværende C efter første afgasning	Tilbageværende C efter anden afgasning	Estimeret nedbrydning i jorden (% af C tilført jorden)	C tilbage i jorden efter to år (% af C i foder)
		(% af C i inden afgasning)			
Afgasset gylle 1	100	40	-	71	12
Afgasset gylle 1 + ekstra afgasning	100	40	33	53	16
Afgasset gylle 2	100	40	-	65	14
Afgasset gylle 2 + ekstra afgasning	100	40	36	59	15

Dette forsøg indikerer:

- at afgasning leder til en mindre kulstofstabilitet end passage gennem koens fordøjelsessystem.
- at stabiliteten af kulstof i afgassede produkter øges betragteligt ved at tilføje en ekstra afgasning.
- at kulstofftabet ved den ekstra afgasning kompenseres ved en større stabilitet af den tilbageværende del.

- At tilførsel af fast biomasse til husdyrgødning har en stor indvirkning på stabiliteten af C i det afgassede produkt.

Béghin-Tanneau et al. (2019) har sammenlignet mineraliseringen af sukrose, majsensilage og majsensilage afgasset i kombination med kvæggylle. For både sukrose og majsensilage finder de, at stort set hele den tilførte kulstofmængde omsættes med henholdsvis 2 og 9% af det tilførte tilbage efter 178 dage. De har desuden kigget på, hvor meget kulstof der omsættes af jordens egen pulje, og særligt sukrose giver anledning til en større omsætning og tilsætningen af sukrose til jorden leder derfor til et samlet tab af kulstof. For majsensilage ses en stort set neutral effekt. Det angives at den stabile andel af afgasset majsensilage er 59% og da majsensilage leder til en lille negativ priming effekt er den samlede effekt 63%.

Schouten et al. (2012) har kigget på nedbrydningen af kvæggylle, afgasset gylle og en biochar lavet på den afgassede gylle i en 80 dages inkubation af to jorde. Ud fra nedbrydningen beregnes en humificeringskoefficient som betegner, hvor stor en andel af kulstoffet tilført, som er tilbage efter 1 år. På den lerede jordtype ses en humificeringskoefficient på 52,5 og 56,8 % for henholdsvis gylle og afgasset gylle, mens de samme værdier på sandjorden er 54,7 og 71,9%. Der er altså kun en meget lille forskel i humificering af ikke afgasset og afgasset gylle på den ene jordtype, mens den er en halv gang større for afgasset gylle på den anden. For biochar var humificeringsprocenten 84,5 og 93,4%.

Cayuela et al. (2010) har kigget på C mineraliseringen fra en lang række produkter herunder kvæg og svinegylle både ikke-afgasset og afgasset. De finder at humificeringsprocenten for kvæggylle falder fra 39,4 til 23,2% efter afgasning mens den stiger fra 39,8 til 55,1% for svinegylle. de la Fuente et al. (2013) ser lignende resultater, efter 56 dages inkubation hvor kvæggylle også mineraliseres i højere grad end afgasset gylle. Også Marcato et al. (2009) finder højere mineralisering af gylle end afgasset gylle efter 60 dages inkubation.

Rækken af inkubationsstudier indikerer at der generelt vil være en større andel af det kulstof som tilføres med afgasset husdyrgødning, som er tilbage i jorden efter et år, og at kulstoffet derfor har nået en højere stabilitet. Mange af inkubationerne er udført på ren husdyrgødning eller plantemateriale, hvor husdyrgødningen både i afgasset og ikke-afgasset form har en større stabilitet end planterester, men i praksis tilføjes der, som beskrevet tidligere, forskellige typer af organisk biomasse til husdyrgødningen ved biogasproduktion. Derved må den forventede mineralisering af kulstof i jorden være højere og dermed lagringsportentalet lavere, sammenlignet med ren afgasset gylle. Nyang'au et al. (2022) har netop prøvet at kigge på hvad denne opblanding betyder. I dette forsøg findes at den stabile pulje i de blandede biogasprodukter er væsentlig lavere end i ren kvæggylle efter kun en afgasningsproces og at den ved at tilføje en anden afgasning bliver sammenlignelig med en blanding af fast biomasse og kvæggylle. Der behøves flere studier for at belyse dette forhold nærmere. Det skyldes ikke mindst, at der kan iblandes mange forskellige biomasser i et biogasanlæg, og at de ikke nødvendigvis har samme effekt. Iblanding af f.eks. halm som i sig selv er relativt svært nedbrydeligt og kødaffald som er let omsætteligt kan have forskellig påvirkning af den afgassede biomasse. Ligeledes er mange studier udført på kvæggylle, men også svinegylle kan afgasses, selvom tørstofindholdet er lavere.

### **Afgasset biomasse og C-TOOL**

I Danmark anvendes ofte modellen C-TOOL til at beregne kulstoflagring. I modellen indgår tre puljer for kulstofnedbrydning. Puljerne hedder FOM, HUM og ROM med FOM som den letomsættelige og ROM som den svært nedbrydelige og HUM ind imellem de to. Når organisk materiale tilføres til jorden fordeles det i mellem puljerne FOM og HUM og fordelingen mellem de to har en indvirkning på, hvor stor kulstoflagring der beregnes. Jo mere kulstof som fra starten placeres i HUM puljen, jo større kulstoflagring. Resultaterne gennemgået her indikerer at en større andel af kulstofindholdet i afgasset husdyrgødning (uden yderligere tilsat biomasse) bør placeres i HUM-puljen sammenlignet med ikke-afgasset husdyrgødning. Når der iblandes biomasse i husdyrgødningen i biogasanlægget har dette en indvirkning på

stabiliteten af kulstoffet i den afgassede biomasse. Det betyder imidlertid typisk også at tørstofindholdet i den afgassede biomasse er højere end i afgasset gylle, og dermed også kulstofindholdet.

### Stabilisering af kulstof i jorden

Langtidslagring af kulstof i jorden kræver at det tilførte kulstof stabiliseres. Hvor stabiliteten af det tilførte kulstof har nogen effekt på, hvor hurtigt det nedbrydes, er der i dag også stort fokus på andre mekanismer for stabilisering i jorden. Der er bl.a. stort fokus på stabilisering ved binding til jordens lerminerale (MAOM – mineral associated organic matter) og på at mikrobiomet i jorden står for en stor stabilisering når de omsætter, nedbryder og indbygger kulstof i deres biomasse. Det skyldes flere effekter. En af dem er, at afdøde mikroorganismer (necromass) menes at levere en høj andel af stabiliseret kulstof til jorden. En anden effekt er at omsætningen af kulstof af jordens mikroorganismer kan lede til en større dannelse af MAOM. Forskning indikerer at denne effekt er størst når det tilføres biomasse med en lav C/N ratio. Der er altså mange effekter, som indvirker på, hvordan kulstof stabiliseres og dermed langtidslagres i jorden.

### Opsamling

Baseret på de gennemgåede inkubationsstudier er de meget som tyder på, at andelen af let nedbrydeligt kulstof falder i den afgassede biomasse sammenlignet med udgangspunktet. Den endelige kvalitet af det afgassede produkt afhænger dog i høj grad af, hvad der afgasses. Hvor ren husdyrgødning vil have opnået en større stabilitet end udgangspunktet kan et blandingsprodukt ende med en lavere stabilitet end husdyrgødningens udgangspunkt. Der kræves dog yderligere forskning i denne sammenhæng. Ud fra den fundne litteratur har det ikke været muligt at identificere en kvalitetsparameter i de afgassede produkter, som kan beskrive stabiliteten, men koncentrationen af lignin og andre svært nedbrydelige stoffer kunne være en mulighed. Hvorvidt der bør anvendes en anden allokering af kulstof i de forskellige puljer i C-TOOL er for nuværende svært at sige, men det er vigtigt at der beregnes et korrekt kulstofindhold, hvor der tages højde for, at der tilføres anden biomasse end husdyrgødning til biogasanlæg i Danmark.

### Referencer

- Béghin-Tanneau, R., Guérin, F., Guiresse, M., Kleiber, D., & Scheiner, J. D. (2019). Carbon sequestration in soil amended with anaerobic digested matter. *Soil and Tillage Research*, 192, 87–94. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.still.2019.04.024>
- Cayuela, M. L., Oenema, O., Kuikman, P. J., Bakker, R. R., & Van Groenigen, J. W. (2010). Bioenergy by-products as soil amendments? Implications for carbon sequestration and greenhouse gas emissions. *GCB Bioenergy*, 2(4), 201–213. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1757-1707.2010.01055.x>
- de la Fuente, C., Albuquerque, J. A., Clemente, R., & Bernal, M. P. (2013). Soil C and N mineralisation and agricultural value of the products of an anaerobic digestion system. *Biology and Fertility of Soils*, 49(3), 313–322. <https://doi.org/10.1007/s00374-012-0719-9>
- Marcato, C.-E., Mohtar, R., Revel, J.-C., Pouech, P., Hafidi, M., & Guiresse, M. (2009). Impact of anaerobic digestion on organic matter quality in pig slurry. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 63(3), 260–266. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2008.10.001>
- Nyang'au, J. O., Møller, H. B., & Sørensen, P. (2022). Nitrogen dynamics and carbon sequestration in soil following application of digestates from one- and two-step anaerobic digestion. *Science of The Total Environment*, 851, 158177. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158177>
- Olesen, J. E., Møller, H. B., Petersen, S. O., Sørensen, P., Nyord, T. og Sommer, S. G.. (2020) Aarhus Universitet, DCA - Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug. 28 s. - DCA rapport nr. 175 <https://dca.au.dk/djfpdf/DCArapport175.pdf>
- Schouten, S., van Groenigen, J. W., Oenema, O., & Cayuela, M. L. (2012). 'Bioenergy from cattle manure? Implications of anaerobic digestion and subsequent pyrolysis for carbon and nitrogen

dynamics in soil.' *GCB Bioenergy*, 4(6), 751–760. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1757-1707.2012.01163.x>

Thomsen, I. K., Olesen, J. E., Møller, H. B., Sørensen, P., & Christensen, B. T. (2013). Carbon dynamics and retention in soil after anaerobic digestion of dairy cattle feed and faeces. *Soil Biology and Biochemistry*, 58, 82–87. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2012.11.006>