



TEKNOLOGISK
INSTITUT

INBIOM fællesprojekt Bioraffinering 2017-2018

Gødningsprodukter fra bioraffinering af grøn biomasse

Titel:

Gødningsprodukter fra bioraffinering af grøn biomasse

Udarbejdet for:

Rapporten er udført i forbindelse med INBIOM fællesprojekt Bioraffinering. Rapporten omfatter afrapportering af resultater fra arbejdsopgave 7, 'Stripning af ammoniak og andre tiltag til produktion af gødning, herunder økologisk gødning'.

Udarbejdet af:

Teknologisk Institut
Agro Food Park 15, Skejby
8200 Aarhus N
Bioressourcer og Bioraffinering

Forside:

Pressekage efter ekstraktion af proteinjuice fra rajgræs. Høstet 7/6 2016 og presset på pilotanlæg ved Aarhus Universitet i Foulum. Foto: Søren Ugilt Larsen, Teknologisk Institut.

Marts 2018

Forfatter: Søren Ugilt Larsen

Indholdsfortegnelse

Sammendrag	4
1. Indledning	6
2. Massefordeling og næringsstofindhold i fraktioner ved bioraffinering af grøn biomasse 7	
2.1. Massefordeling mellem fraktioner	7
2.2. Næringsstoffordeling mellem fraktioner	9
2.3. Næringsstofkoncentration i fraktioner.....	12
3. Brunvand som gødningskilde	14
4. Pressekage som energikilde og gødningskilde	17
5. Referencer.....	23

Sammendrag

Bioraffinering af grøn biomasse giver typisk tre hovedfraktioner, nemlig et proteinkoncentrat samt restprodukter i form af pressekage og brunvand. Pressekagen er den fiberrige fraktion, der bliver tilbage efter ekstraktion af proteinjuice fra biomassen, mens brunvand er væskefraktionen, der bliver tilbage efter udfældning af protein fra proteinjuicen. Både pressekage og brunvand indeholder næringsstoffer, der udgør en vigtig ressource i planteproduktionen. Massefordelingen mellem de tre fraktioner og næringsstofkoncentrationerne er relevante for potentialerne for pressekage og brunvand som gødningsmidler, og rapporten belyser disse forhold ud fra eksisterende viden og de seneste vurderinger.

Ved bioraffineringen af grøn biomasse sker der en væsentlig opkoncentrering af tørstof i pressekage og proteinkoncentrat, så tørstofindholdet øges fra typisk 18 % i frisk biomasse til 33,7 og 34,6 % i hhv. pressekage og proteinkoncentrat, mens tørstofindholdet i brunvand kun er 4,5 %. Derved udgør brunvand en stor og meget vandrig fraktion, og ca. 63 % af den samlede vandmængde ender i brunvandfraktionen.

Fordelingen af næringsstoffer mellem fraktionerne afhænger bl.a. af den anvendte biomasse og især af den anvendte raffineringsteknologi. Forsøg har vist, at 61-72 % af kvælstoffet går til pressekagen og 12-24 % går til brunvandet, men ved optimering af processerne vurderes det, at man kan komme ned på 55 og 4,5 % af kvælstoffet i hhv. pressekage og brunvand. Fosforen forventes fordelt med omtrent 50 % i pressekagen og omtrent 30 % i brunvandet.

I forsøg har kalium været fordelt med 39-43 % i pressekage og 31-38 % i brunvand. Kaliumfordelingen mellem proteinkoncentrat og brunvand vil formodentlig afhænge meget af teknologien anvendt til udfældning og separering af protein fra juicen, men det forventes at være realistisk med ca. 40 % kalium i pressekage og 51 % i brunvand.

Koncentrationen af kvælstof, fosfor og kalium øges noget i pressekagen sammenlignet med frisk biomasse og forventes at være ca. 0,86, 0,07 og 0,58 % (friskvægtbasis). I brunvandet er der meget lav koncentration af kvælstof, ret lav koncentration af fosfor og omtrent sammen koncentration af kalium som i frisk biomasse, og koncentrationen forventes at være hhv. ca. 0,05, 0,03 og 0,51 % (friskvægtbasis).

Ved anvendelse som gødning til konventionel produktion har næringsstofferne N, P og K i brunvand en samlet værdi på ca. 37 kr. pr. ton brunvand, hvoraf K bidrager med godt 30 kr./ton brunvand. Ved anvendelse til økologisk produktion vil næringsstofferne have en større værdi. På grund af den lave koncentration af næringsstoffer skal der ved anvendelse af uforarbejdet brunvand som gødningsmiddel udbringes betydelig mængder pr. ha. Ved fuldgødsning med kalium med brunvand skal der tilføres 9-14 tons brunvand pr. ha til vinterhvede og 49 tons brunvand pr. ha til græs og kløvergræs til slæt. Brunvand vil kunne udbringes med gyllevogn, hvilket koster 17-20 kr. pr. ton. Derved overstiger værdien af næringsstofferne omkostningerne til udbringning, men der skal også indregnes omkostninger til transport fra produktionssted til mark samt omkostninger til opbevaring af brunvand fra produktion til udbringning.

Brunvand har betydelige ligheder med kartoffelsaft fra produktion af kartoffelmel mht. indhold af tørstof, P og K, mens indholdet af N er lavere i brunvand. Kartoffelsaft opgraderes ved inddampning til gødningsproduktet protamylase med ca. 10 gange højere næringsstofkoncentration. Det er oplagt at undersøge mulighederne for at opkoncentrere brunvand på lignende vis, men valg af teknologi kræver nærmere undersøgelser af kvaliteten af brunvandet samt test i mindre skala og analyse af omkostningerne. Umiddelbart synes indholdet af N i brunvand at være for lavt til stripping af ammoniak.

De indtil videre få forsøg med kvægfodring med pressekage af græs tyder på, at foderværdien er fuldt på højde med foderværdien af ensilage af den oprindelige afgrøde, men foderværdien af pressekagen vil variere afhængig af kvaliteten af den oprindelige afgrøde. Metanpotentialiet af pressekagen synes at variere afhængig af afgrøde, varierende mellem 218 og 375 ml pr. g VS efter 55 dages udrådning i en undersøgelse og mellem 266 og 284 ml pr. g VS efter 21 dages udrådning i en anden undersøgelse. Ensilering synes at give en hurtigere metanproduktion af pressekagen, mens slutpotentialiet ikke ændres væsentligt. Næringsstofferne i pressekagen vil ved bioforgasning være bevaret i den afgassede 'biogasgylle', som kan anvendes til gødningsformål. Det er dog ønskeligt med større viden om tilgængeligheden af næringsstofferne efter bioforgasning af pressekage, ikke mindst hvor stor en andel af kvælstoffet, der findes på ammoniumform.

Hvor vidt det er økonomisk mest fordelagtigt at anvende pressekage til kvægfoder eller til biogas afhænger af foderværdi og metanpotentialer samt af afsætningspriser for hhv. foder og biomasse til biogas. En beregning af ligevægtspriser tyder på, at det med de nuværende prisrelationer i langt de fleste tilfælde er mest økonomisk fordelagtigt at anvende pressekagen til kvægfoder fremfor til biogasproduktion. Lokale forhold såsom udbud og efterspørgsel efter foder og biomasse til biogasproduktion vil dog også kunne spille ind på prisrelationerne. Desuden kan der være særlige forhold i den økologiske landbrugsproduktion, der kan tale for anvendelse af pressekage til biogas for at recirkulere næringsstoffer fra kløvergræs til planteproduktionen.

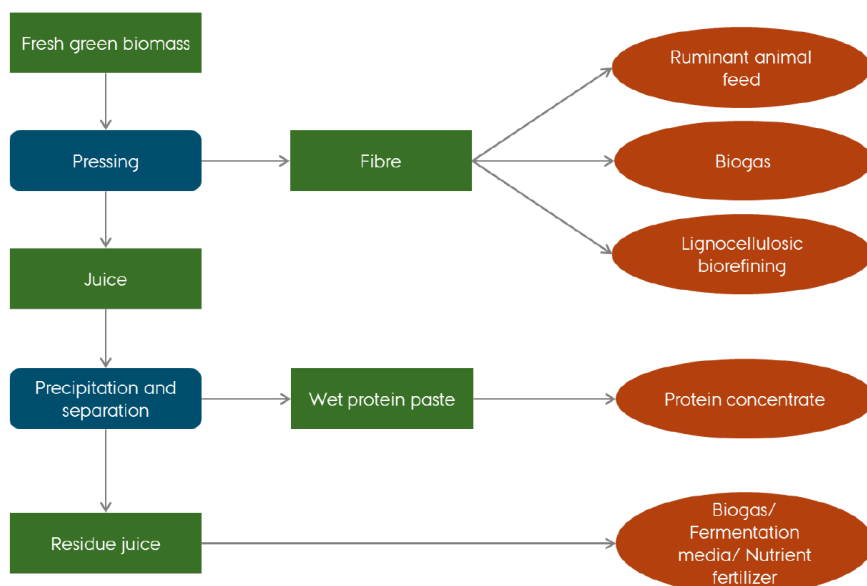
Det er stærkt ønskeligt med flere data både vedr. foderværdi og metanpotentialer for pressekagen samt gødningsvirkningen efter bioforgasning, så den økonomiske værdi kan fastsættes med større sikkerhed.

1. Indledning

Ved raffinering af proteinprodukter fra grøn biomasse produceres der et proteinkoncentrat samt restprodukter i form af pressekage og brunvand, se figur 1. Pressekagen ('fibre') er den fiberrige fraktion, der bliver tilbage efter ekstraktion af proteinjuice fra biomassen, mens brunvand ('residue juice') er væskefraktionen, der bliver tilbage efter udfældning af protein fra proteinjuicen. Både pressekage og brunvand indeholder næringsstoffer, der udgør en vigtig ressource i planteproduktionen.

Formålet med denne rapport er at belyse mulighederne for at optimere genanvendelsen af næringsstofressourcerne, bl.a. til økologiske gødningsprodukter, samt anvendelse af fraktionerne til biogasproduktion. Analysen er baseret på eksisterende data vedr. bioraffinering af grøn biomasse, specielt med data fra projekterne BioValue og Organofinery.

Rapporten fokuserer på i) massefordeling og næringsstofindhold i de tre fraktioner ved bioraffinering af grøn biomasse, ii) brunvand som gødningskilde, iii) pressekage som energikilde og gødningskilde.

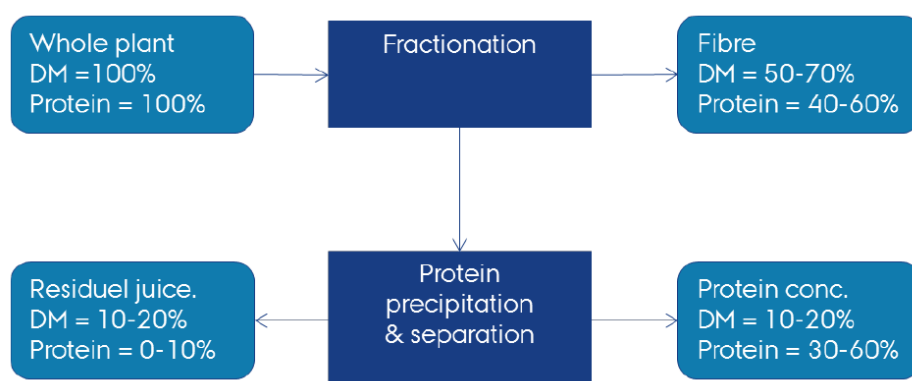


Figur 1. Skematisk oversigt over bioraffinering af frisk grøn biomasse. (Fra Hermansen et al., 2017).

2. Massefordeling og næringsstofindhold i fraktioner ved bioraffinering af grøn biomasse

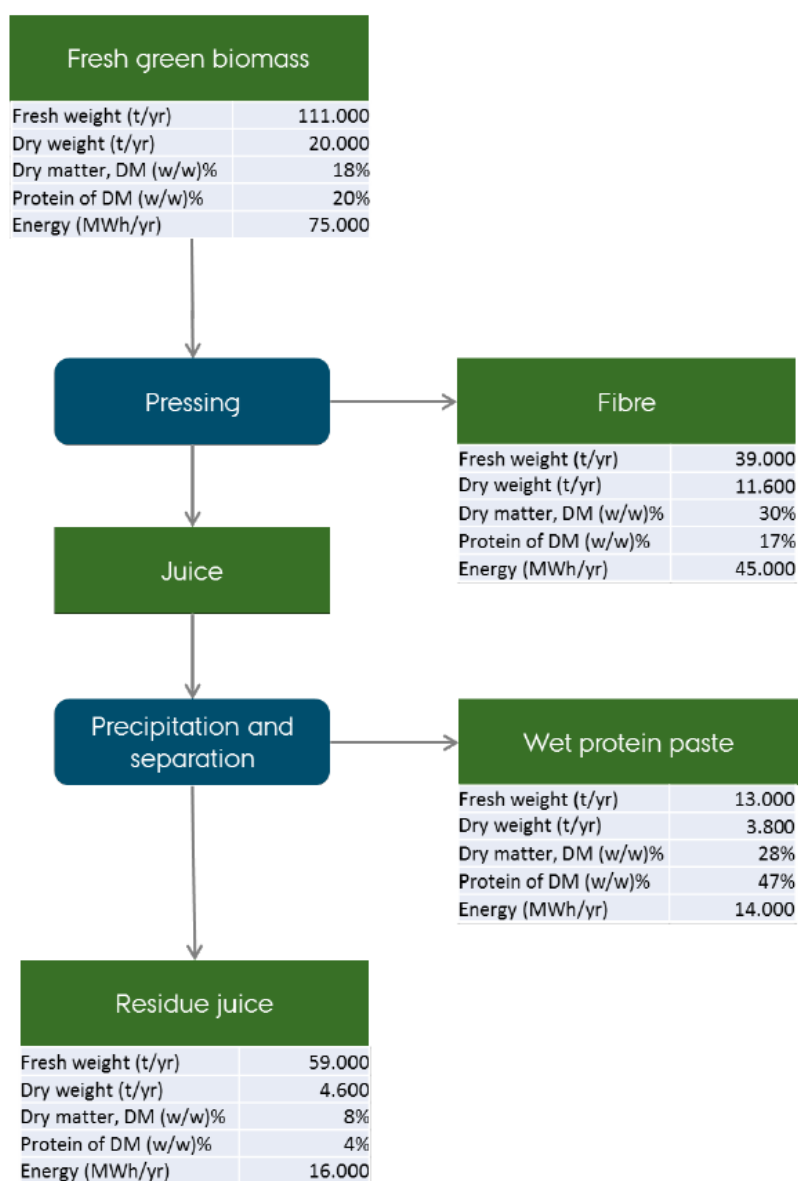
2.1. Massefordeling mellem fraktioner

Fordeling af tørstof og næringsstoffer mellem proteinkoncentrat, pressekage og brunvand vil afhænge af den anvendte raffineringsteknologi og kan desuden tilpasses efter, hvilken værdi de forskellige fraktioner. Derfor kan fordelingen variere betydeligt, som vist i figur 2, der angiver typiske intervaller for fordelingen mellem fraktionerne. De viste intervaller er ikke ultimative men illustrerer bl.a. mulighederne for at optimere processen afhængig af den ønskede fordeling (Hermansen et al., 2017). Figuren viser, at andelen af protein og dermed kvælstof kan variere mellem 40 og 60 % for pressekagefraktionen og mellem 0 og 10 % for brunvandfraktionen. Da proteinindholdet varierer mellem fraktionerne, ses ikke samme fordeling af tørstoffet mellem fraktionerne, idet der typisk kommer 50-70 % ud i pressekagen og 10-20 % ud i brunvand.



Figur 2. Typisk massefordeling af tørstof og protein i de forskellige fraktioner ved bioraffinering af grøn biomasse. (Fra Hermansen et al., 2017).

Figur 3 viser et teoretisk eksempel på en masse- og energibalance for bioraffinering af grøn biomasse med 18 % tørstof og 20 % protein i tørstof (Hermansen et al., 2017). I dette eksempel vil kvælstofmængden fordele sig med omtrent 49,3 % i pressekagen, 44,7 % i proteinkoncentratet og 4,6 % i brunvandet.

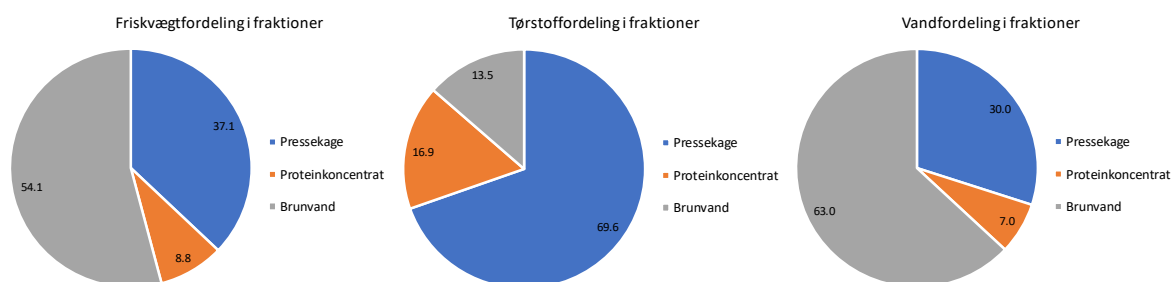


Figur 3. Masse- og energibalance ved presning og separation af protein fra grøn biomasse. Procentangivelserne for tørstof og protein angiver koncentrationen i de enkelte fraktioner. (Fra Hermansen et al., 2017).

Ud fra de seneste erfaringer med bioraffinering af grøn biomasse er der lavet en opdateret massefordeling (Ambye-Jensen, 2017), hvor fordelingen er lidt anderledes end angivet i figur 3. I de nyeste tal er der antaget en lidt større andel af protein i pressekagen og en lidt mindre andel i proteinkoncentratet. I det efterfølgende regnes med data fra Ambye-Jensen (2017), der er det bedste bud på en realistisk massefordeling for en optimeret bioraffineringsproces.

Figur 4 viser massefordelingen for hhv. friskvægt, tørstof og vand mellem de tre fraktioner ved bioraffinering af grøn biomasse. Ved bioraffineringen sker der en væsentlig opkoncentrering af tørstof i pressekage og proteinkoncentrat, så tørstofindholdet øges fra 18 % i frisk biomasse til 33,7 og 34,6 % i hhv. pressekage og proteinkoncentrat, mens

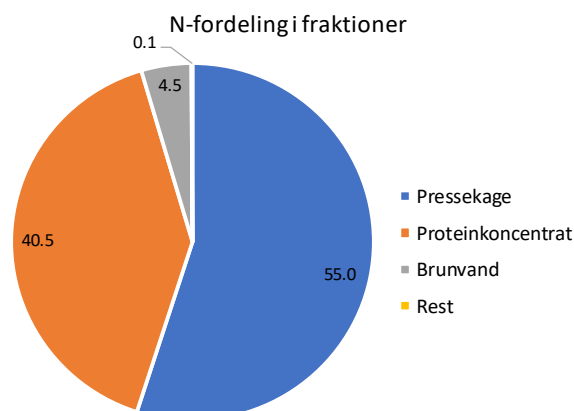
tørstofindholdet i brunvand kun er 4,5 %. Derved udgør brunvand en stor og meget vandrig fraktion, og ca. 63 % af den samlede vandmængde ender i brunvandfraktionen.



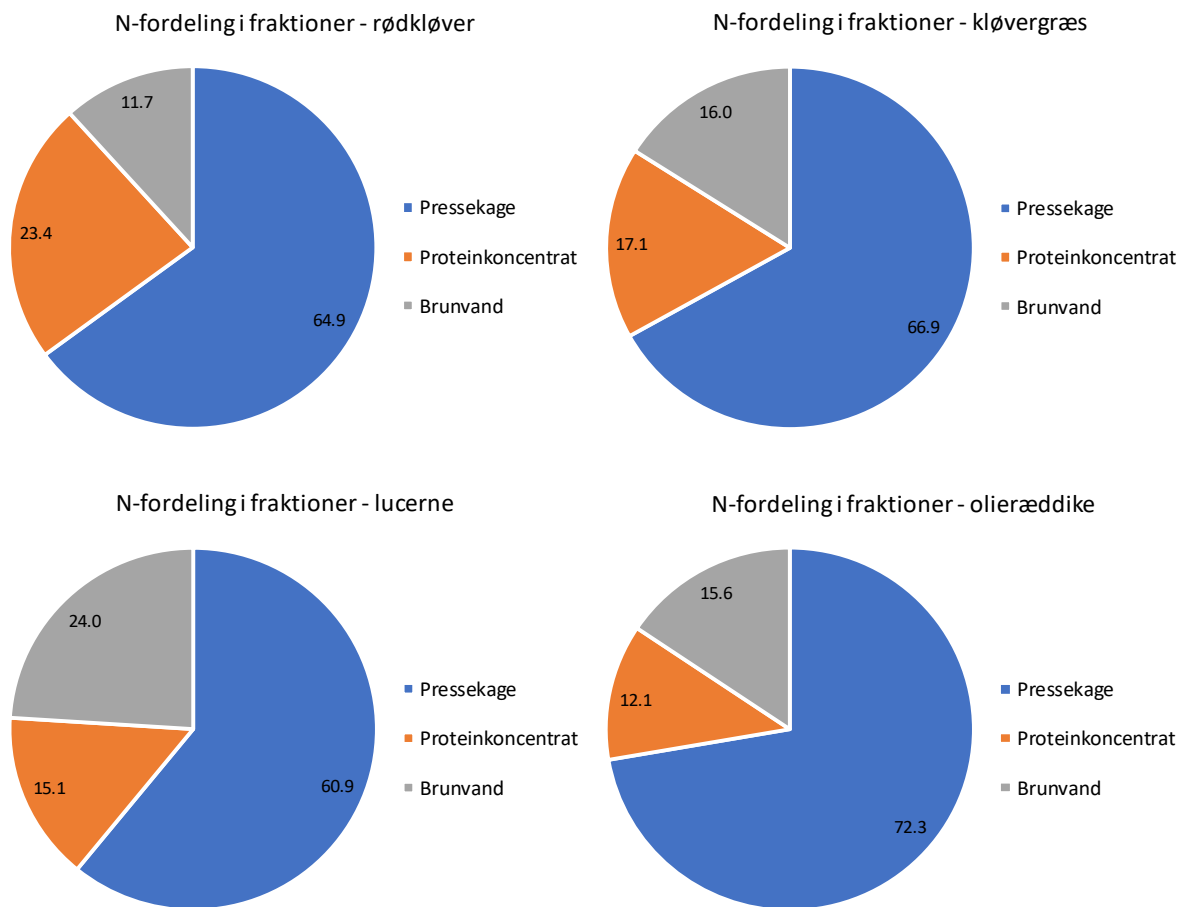
Figur 4. Massefordeling af friskvægt, tørstof og vand mellem de tre fraktioner ved bioraffinering af grøn biomasse, angivet som vægtprocent. (Fra Ambye-Jensen, 2017).

2.2. Næringsstoffordeling mellem fraktioner

Figur 5 viser en forventet fordeling af protein og dermed kvælstof mellem fraktionerne ved en optimeret bioraffinering af grøn biomasse, dvs. hvor der antages en massefordeling som vist i figur 4, og hvor 55 og 4,5 % af kvælstoffet går til hhv. pressekage og brunvand. I Organofinery-projektet er der også målt på fordelingen af kvælstof mellem fraktionerne, og fordelingen for biomasse fra 4 forskellige afgrøder er vist i figur 6. Det ses i figur 6, at kvælstoffordelingen varierer en del mellem de 4 afgrøder, men med 61-72 % af kvælstoffet i pressekagen og 12-24 % i brunvandet er der i alle tilfælde en langt større andel af kvælstof i disse to fraktioner end antaget i figur 5. Den lavere andel af kvælstof i proteinkoncentratfraktionen må primært tilskrives den anvendte raffineringsteknik, som forventes at kunne optimeres, så der opnås højere proteinandel i koncentratfraktionen.

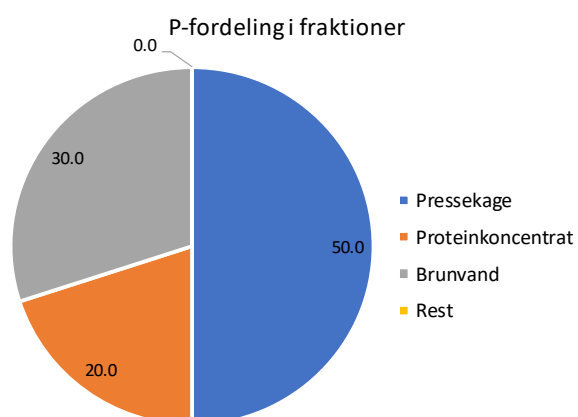


Figur 5. Massefordeling af kvælstof mellem de tre fraktioner ved bioraffinering af grøn biomasse, angivet som vægtprocent. (Fra Ambye-Jensen, 2017).

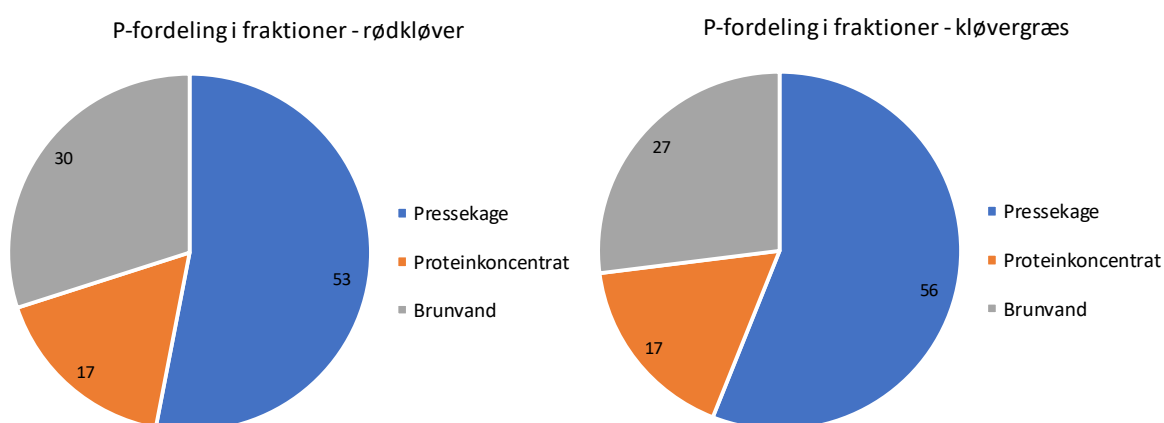


Figur 6. Massefordeling af kvælstof mellem de tre fraktioner ved bioraffinering af grøn biomasse fra hhv. rødkløver, kløvergræs, lucerne og olieræddike, angivet som vægtprocent. (Fra Santamaría-Fernández et al., 2016, 2017a, 2017b).

Figur 7 viser en forventet fordeling af fosfor mellem fraktionerne ved optimeret bioraffinering, hvor ca. 50 og 30 % af fosforen går til hhv. pressekage og brunvand. Figur 8 viser omtrent samme fordeling af fosfor ved raffinering af rødkløver og kløvergræs i Organofinery-projektet.

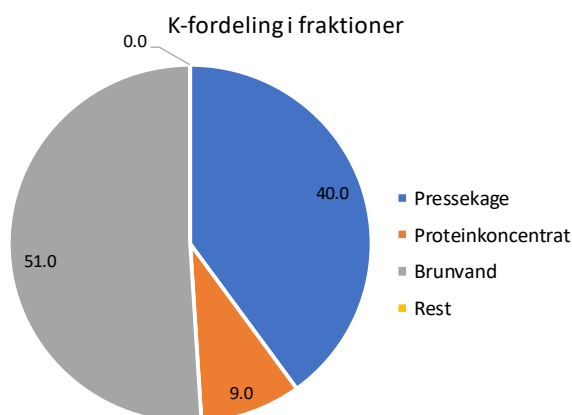


Figur 7. Massefordeling af fosfor mellem de tre fraktioner ved bioraffinering af grøn biomasse, angivet som vægtprocent. (Fra Ambye-Jensen, 2017).

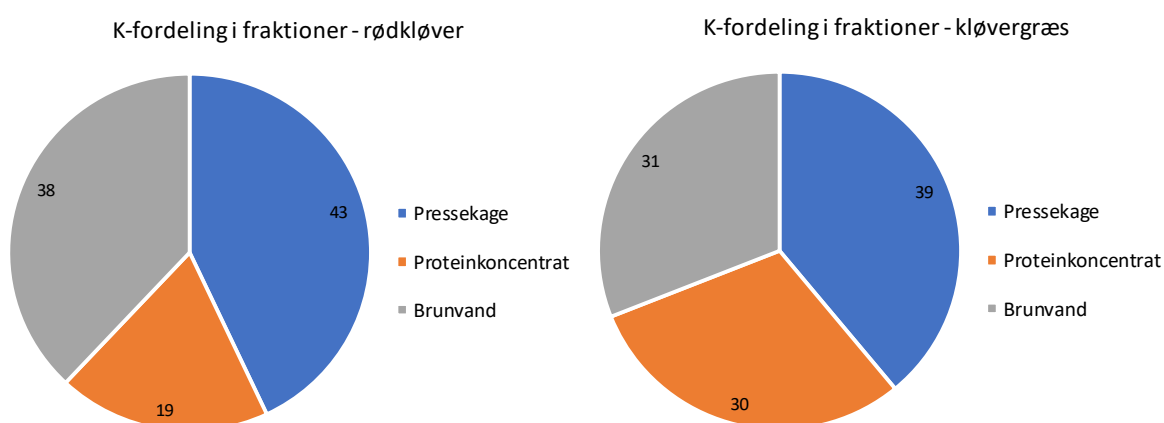


Figur 8. Massefordeling af fosfor mellem de tre fraktioner ved bioraffinering af grøn biomasse fra hhv. rødkløver og kløvergræs, angivet som vægtprocent. (Fra Santamaría-Fernández et al., 2016, 2017a, 2017b).

Figur 9 viser en forventet fordeling af kalium mellem fraktionerne ved optimeret bioraffinering med 40 og 51 % i hhv. pressekage og brunvand. Figur 10 viser fordelingen ved raffinering af rødkløver og kløvergræs i Organofinery-projektet, hvor der er opnået 39-43 % i pressekage og 31-38 % i brunvand. Fordelingen af kalium mellem proteinkoncentrat og brunvand vil formodentlig variere meget afhængig af teknologien til at udfælde og separere protein fra jucen.



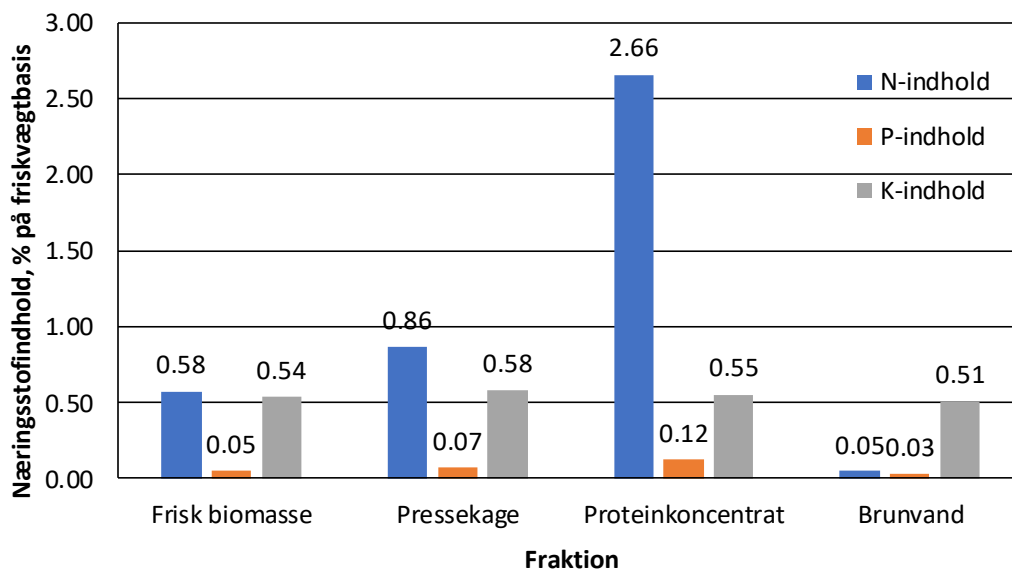
Figur 9. Massefordeling af kalium mellem de tre fraktioner ved bioraffinering af grøn biomasse, angivet som vægtprocent. (Fra Ambye-Jensen, 2017).



Figur 10. Massefordeling af kalium mellem de tre fraktioner ved bioraffinering af grøn biomasse fra hhv. rødkløver og kløvergræs, angivet som vægtprocent. (Fra Santamaría-Fernández et al., 2016, 2017a, 2017b).

2.3. Næringsstofkoncentration i fraktioner

Figur 11 viser koncentrationer af kvælstof, fosfor og kalium i frisk grøn biomasse samt i de tre fraktioner ud fra forventede massefordelinger ved optimeret bioraffinering. Der sker en let opkoncentrering af alle tre næringsstoffer i pressekagen i forhold til frisk biomasse, mens der i brunvandet er meget lavere kvælstofindhold, noget lavere fosforindhold og omtrent samme kalium som i frisk biomasse. Koncentrationerne vil kunne variere afhængig af de faktiske massefordelinger, der kan opnås mellem fraktionerne.



Figur 11. Koncentration af kvælstof, fosfor og kalium i de tre fraktioner ved bioraffinering af grøn biomasse, angivet som vægtprocent. (Fra Ambye-Jensen, 2017).

3. Brunvand som gødningskilde

Brunvand har lavt tørstofindhold på ca. 4,5 % og et relativt lavt indhold af næringsstoffer, med 0,05 % N, 0,03 % P og 0,51 % K (figur 11). Næringsstofferne i brunvand har værdi som gødning, og med udgangspunkt i gældende priser for næringsstofferne N, P og K til konventionel produktion er der i tabel 1 beregnet økonomisk værdi af disse tre næringsstoffer pr. ton brunvand. Der antages i beregningen fuld udnyttelse af alle tre næringsstoffer, hvilket er realistisk for i hvert fald kaliumindholdet, der er det næringsstof, der primært bidrager til værdien. Udover den samlede værdi af N, P og K på 37,20 kr. pr. ton brunvand vil der også være andre næringsstoffer, som vil have gødningsmæssig værdi. Ved anvendelse af brunvand som gødning i økologisk produktion vil næringsstofferne have en større værdi.

Tabel 1. Økonomisk værdi af næringsstoffer i brunvand før opkoncentrering. Koncentration er baseret på Ambye-Jensen (2017). Værdi pr. kg næringsstof er baseret på prognosepriser for gødning til konventionel produktion for 1. kvartal 2018 i [Farmtal Online](#), 2018. Der antages fuld udnyttelse af både N, P og K.

Næringsstof	Koncentration, % af friskvægt	Næringsstovværdi, kr./kg	Næringsstovværdi, kr./ton brunvand
N	0,05	6,00	3,00
P	0,03	12,00	3,60
K	0,51	6,00	30,60
Andre næringsstoffer	?	?	?
I alt			37,20

På grund af den lave koncentration af næringsstoffer skal der ved anvendelse af uforarbejdet brunvand som gødningsmiddel udbringes betydelig mængder pr. ha. Dette er i tabel 2 illustreret for vinterhvede og græs- og kløvergræs til slæt med udgangspunkt i vejledende gødningsmængder jf. dyrkningsvejledninger for de to afgrøder. For begge afgrøder nås 'loftet' først for kalium ved gødskning med brunvand, dvs. hvis der fuldgødskes med kalium med brunvand, skal der suppleres med anden gødning for at dække behovet af N og P. For vinterhvede skal der udbringes 8,8-13,7 tons brunvand pr. ha for at dække kaliumbehovet, mens der for slætgræs skal udbringes 49 tons brunvand pr. ha, typisk fordelt over 4-5 slæt (tabel 2).

Brunvand kan i disse mængder udbringes med gyllevogn på marker, der ligger indenfor relativt kort afstand fra produktionsstedet. Omkostningen til udbringning af brunvand antages at svare til omkostningen ved udbringning af gylle, som kan sættes til omtrent 17 kr./ton ved udlægning med slanger og 20 kr./ton ved nedfældning (Oversigt over Landsforsøgene, 2017).

Værdien af næringsstoffer på omkring 37 kr./ton brunvand er således større end omkostningerne til udbringning, så længe der er tale om korte transportafstande. Der skal imidlertid også indregnes en omkostning til opbevaring af brunvand fra produktionstidspunktet til udbringningstidspunktet, og denne periode vil for en del af brunvandsmængden vare fra sommer/efterår og frem til starten på vækstsæsonen det efterfølgende år. For at

belyse den samlede økonomi for anvendelse af brunvand som gødningsressource er det derfor nødvendigt at tage højde for både transportafstand og behov for lagring af brunvandet.

Tabel 2. Gødningsbehov og nødvendige mængder brunvand ved fuldgødskning af vinterhvede og slætgræs med brunvand. De vejledende værdier for gødningsbehov er fra [Dyrkningsvejledning for vinterhvede](#) (opdateret 11/6 2015) og [Dyrkningsvejledning for græs og kløvergræs](#) til slæt med 4-5 slæt (opdateret 19/12 2015), begge på Landbrugsinfo. Behovet for N til vinterhvede svarer til optimal N-mængde ved priser på 6 kr./kg N og 125 kr./hkg korn.

Næringsstof	Gødningsbehov, kg/ha	Nødvendig brunvandsmængde ved fuldgødskning, tons/ha	Næringsstofmængde ved fuldgødskning med kalium med brunvand, kg/ha
Vinterhvede			
N	190	380	4,4-6,9
P	16-25	53-83	2,6-4,1
K	45-70	8,8-13,7	45-70
Slætgræs			
N	320	640	25
P	40	133	15
K	250	49	250

Brunvand fra proteinproduktion har betydelige ligheder med kartoffelsaft fra produktion af kartoffelmel (tabel 3). Kartoffelsaft har også et relativt lavt tørstofindhold på ca. 4 %, og indholdet af tørstof, indholdet af P og K minder meget om indholdet i brunvand, mens indholdet af N er noget højere i kartoffelvand end i brunvand.

Kartoffelmelsfabrikken AKV i Vendsyssel opbevarede tidligere kartoffelsaft med ca. 4 % tørstof i lagune, hvorfra saften blev udbragt forår og sommer via rørsystem og med gyllevogne. Kartoffelsaften i lagunen blev syrnede med syre og ved tilsætning af mælkesyrebakterier og melasse for at opnå en pH-værdi på ca. 4,0 for at sikre holdbarheden (Svend Bjerre Bøgh, personlig kommunikation).

AKV er nu gået over til at inddampe kartoffelsaften til 'protamylase' med ca. 40 % tørstof, dvs. en opkoncentrering på ca. 10 gange (tabel 3) ([produktblad for AKVs produkt K-2](#), der er produktnavnet på AKVs protamylase). Ved opkoncentreringen opgraderes kartoffelvandet fra et affaldsprodukt til et gødningsprodukt af højere værdi og med mulighed for udbringning i et væsentligt større geografisk område (Svend Bjerre Bøgh, personlig kommunikation). Ved inddampningen genvindes varme ved kondensering af kondensatvandet. Protamylasen opbevares i overdækkede gyllebeholdere, mens kondensatvandet opbevares i lagune indtil vækstsæsonen, hvor det udbringes i en pilebeplantning.

Protamylasen fra kartoffelproduktionen udbringes i afgrøder (typisk kartofler) med 18 m³ gyllevogn med 36 m bred bom og med GPS-udstyr, der giver mulighed for at graduere tildelingen henover marken. Der udbringes f.eks. en dosis på 2 tons pr. ha, og udbringningsprisen er 375 kr./ton (450 kr./m³). Heraf udgør omkostningen til udbringning ca.

100-120 kr./ton. Som alternativ til separat udbringning kan landmænd modtage protamylase i egen gyllebeholder og udbringe den sammen med gyllen efter omrøring.

Tabel 3. Sammenligning af kvaliteten af brunvand fra produktion af protein fra græs og kartoffelsaft og protamylase fra produktion af kartoffelmel. Protamylase er kartoffelsaft, der er opkoncentreret med ca. en 10-faktor. Data for brunvand baseret på Ambye-Jensen (2017), og data for kartoffelsaft og protamylase fra [produktblad for AKVs produkt K-2](#).

Parameter	Brunvand	Kartoffelsaft	Protamylase
Tørstofindhold, %	4,5	4,0	40,0
N, %	0,05	0,18	1,8
P, %	0,03	0,04	0,4
K, %	0,51	0,60	6,0
Mg, %	?	0,03	0,3
S, %	?	0,07	0,7

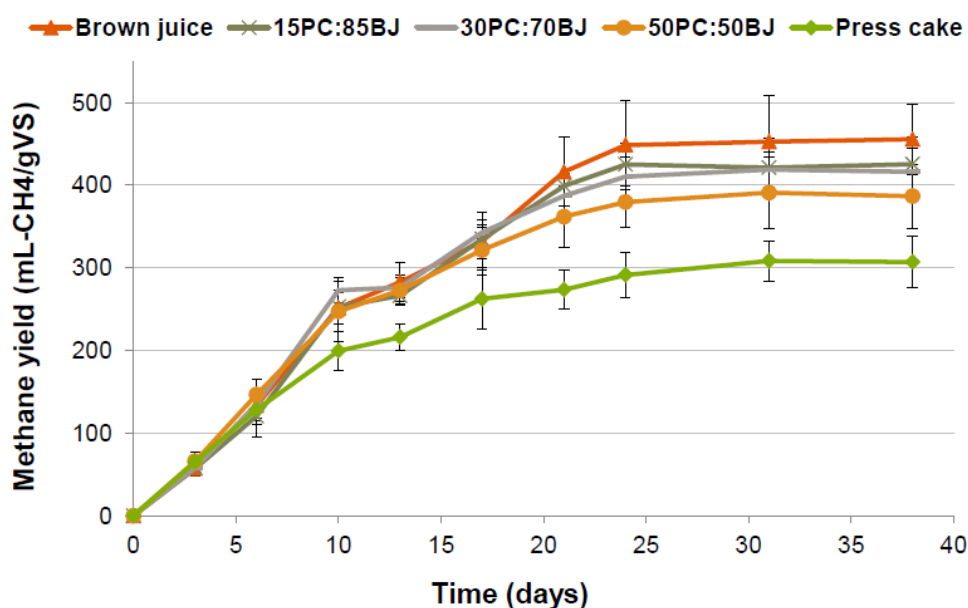
Selvom koncentrationen af specielt N er væsentligt lavere i brunvand end i kartoffelsaft er det oplagt at undersøge muligheden for at inddampe eller opkoncentrere brunvand på tilsvarende vis som kartoffelvand inddampes til protamylase. Metode og teknologi til at opkoncentrere brunvand afhænger imidlertid af den kemiske sammensætning, herunder koaguleringspunktet for den resterende mængde protein i brunvandet (Richard Schmidt, personlig kommunikation). Der er derfor behov for nærmere analyse af kvaliteten af brunvandet samt test af opkoncentrering i mindre skala og analyse af driftsøkonomien.

Der vil teknisk set også være mulighed for at strippe ammoniak fra brunvandet, men med en meget lav N-koncentration synes det ikke relevant for brunvand. Derimod kan det være relevant at udrådne brunvand i biogasanlæg sammen med andre biomasser, hvorved en større del af kvælstoffet formodes at komme på ammoniumform, og hvorved der typisk vil suppleres med anden biomasse med større indhold af kvælstof. Det lave indhold af tørstof i brunvandet gør det dog ikke umiddelbart attraktivt at anvende til biogasproduktion.

4. Pressekegale som energikilde og gødningsskilde

Pressekegale fra græs kan potentielt anvendes til f.eks. kvægfoeder eller til biogasproduktion. Fodringsforsøg ved Aarhus Universitet har påvist, at fodring med en vis andel af ensileret pressekegale gav lidt højere mælkeydelse end, hvis den tilsvarende andel af rationen blev udgjort af alm. kløvergræsensilage (Sørensen, 2017). De foreløbige resultater vedr. foderværdien af pressekegale er derfor lovende. Pressekegale vil ofte have omtrent samme proteinindhold som den oprindelige, ubehandlede afgrøde, men 1-2 procentenheder lavere in vitro fordøjelighed af organisk stof, og foderværdien af pressekegale vil derfor afhænge af kvaliteten af den oprindelige afgrøde (Weisbjerg, personlig kommunikation, 8/1 2018). Der er dog stadig behov for flere undersøgelser af foderværdien af pressekegale ved forskellige bioraffineringsprocesser og ved anvendelse af forskellige kvaliteter og typer af biomasser til bioraffineringen.

Ved anvendelse af pressekegale til biogasproduktion vil værdien afhænge af metanpotentialet. Ligesom for foderværdien af pressekegale så er der endnu kun begrænset viden om metanpotentialet af pressekegale. I Organofinery-projektet er der lavet analyser af metanpotentialet af pressekegale af forskellige grønne biomasser (Santamaría-Fernández et al., 2016; 2017b). I figur 12 er vist det akkumulerede metanpotentiale for pressekegale og brunjuice og forskellige blandinger af disse to fraktioner, og efter 38 dage var metanpotentialet 307 og 456 ml metan pr. g VS for hhv. pressekegale og brunvand. Ved kontinuerlige forsøg i laboratoriereaktorer var det gennemsnitlige metanpotentiale hhv. 202 og 307 ml metan pr. g VS (Santamaría-Fernández et al., 2016). I tabel 4 er desuden vist metanpotentiale for frisk afgrøde samt for pressekegale og brunvand af forskellige afgrøder. Generelt var metanpotentialet i pressekegale lavere end i den friske afgrøde, mens metanpotentialet i brunvand generelt var højere end i frisk afgrøde. Efter 55 dages udrådning var metanpotentialet i pressekegale mellem 219 og 375 ml metan pr. g VS afhængig af afgrøde. Dette understreger, at der kan være stor variation i pressekegales metanpotentiale og dermed værdien som biomasse til biogasproduktion.

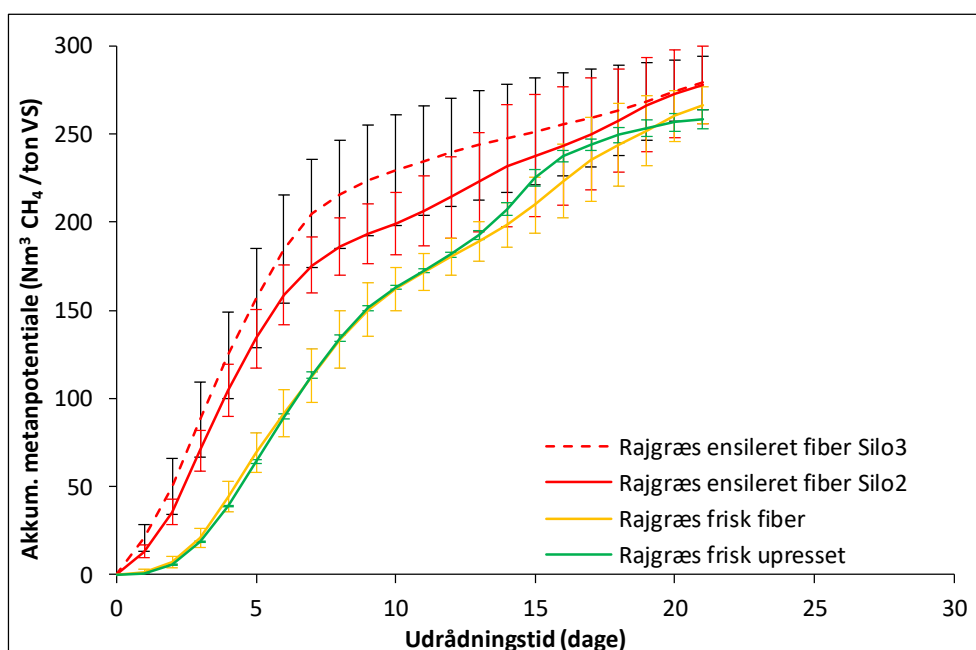


Figur 12. Akkumuleret metanpotentiale ved batch test af brunvand (Brown juice, BJ) og pressekage (Press cake, PC) og forskellige blandinger af disse to fraktioner. Efter 38 dages udrådning var 307 og 456 ml metan pr. g VS for hhv. pressekage og brunvand. (Fra Santamaría-Fernández et al., 2016).

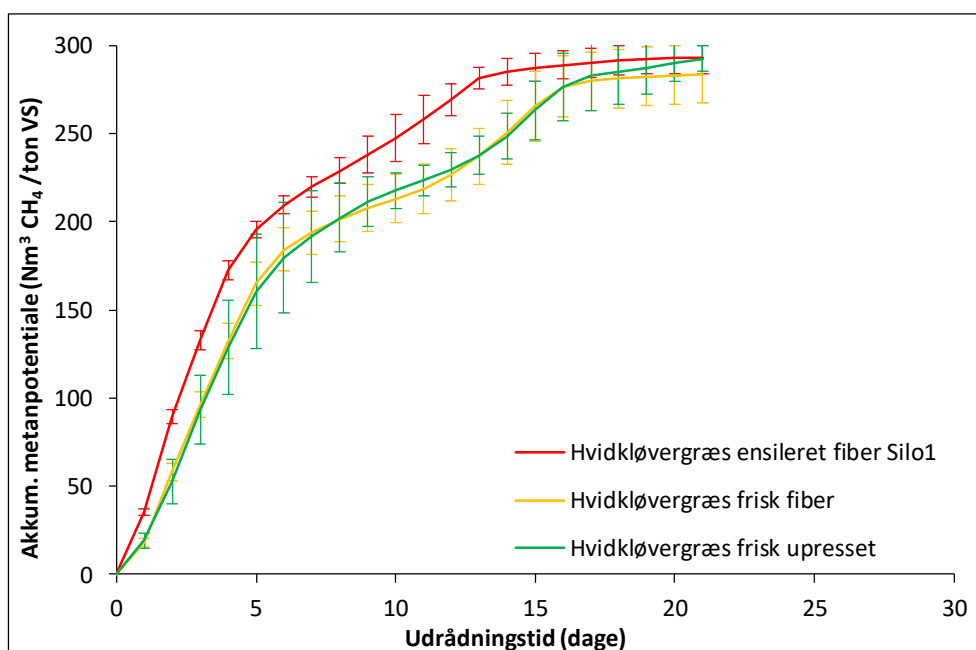
Tabel 4. Metanpotentiale i frisk afgrøde, pressekage og brunvand for forskellige afgrøder efter hhv. 15 og 55 dages udrådning. Tal i parentes angiver standardafvigelsen. (Fra Santamaría-Fernández et al., 2017b).

Afgrøde og fraktion	Metanpotentiale (ml metan pr. g VS)			
	15 dages udrådning		55 dages udrådning	
Rødkløver				
Frisk afgrøde	57,1	(5,5)	330,6	(33,2)
Pressekage	24,1	(5,3)	218,6	(19,3)
Brunvand	131,1	(11,9)	428,7	(26,9)
Kløvergræs				
Frisk afgrøde	97,9	(4,8)	343,6	(47,9)
Pressekage	46,0	(11,6)	295,6	(13,0)
Brunvand	193,7	(3,7)	464,4	(49,7)
Lucerne				
Frisk afgrøde	221,1	(9,0)	361,4	(22,1)
Pressekage	176,6	(18,3)	239,9	(21,5)
Brunvand	153,4	(6,5)	456,7	(14,4)
Olieræddike				
Frisk afgrøde	152,5	(7,3)	452,2	(39,9)
Pressekage	278,6	(10,7)	374,7	(12,6)
Brunvand	80,2	(5,4)	475,0	(6,9)

I BioValueprojektet er der lavet undersøgelse af metanpotentialer i frisk, upresset rajgræs høstet 7/6 2016 samt frisk pressekage og ensileret pressekage (11 måneders ensilering) baseret på samme rajgræsbiomasse. Tilsvarende er der lavet undersøgelse med hvidkløvergræs høstet 29/9 2016, hvor der også er målt på frisk, upresset biomasse, frisk pressekage og ensileret pressekage (7 måneders ensilering). Analyserne af metanpotentialer er i skrivende stund stadig i gang, så der foreligger kun resultater for 21 dages batch-udrødning. Akkumuleret metanpotentialer er vist i figur 13 og 14. Der var omtrent samme metanpotentialer i frisk, upresset græs og i frisk pressekage, hvorimod der i førnævnte undersøgelse i Organofinery-projektet (Santamaría-Fernández et al., 2016) var højere metanpotentialer i frisk, upresset græs (tabel 4). At der opnås omtrent samme niveau i frisk, upresset græs og i frisk pressekage i BioValue-projektet kan skyldes, at der anvendes en mere effektiv skruepresse, som kan have en mekanisk forbehandlingseffekt på pressekagen. Frisk pressekage havde efter 21 dages udrødning et metanpotentialer på 266 og 284 ml metan pr. g VS for hhv. rajgræs og hvidkløvergræs. Ensileret pressekage havde en relativt hurtigere metanproduktion sammenlignet med frisk pressekage, men slutniveauet var nogenlunde ens med hhv. 279 og 293 ml metan pr. g VS (figur 13 og 14). Lagringstab under ensileringen udgjorde 3,1 og 1,7 % af VS-mængden for pressekage af hhv. rajgræs og hvidkløvergræs. På grund af det lidt højere metanpotentialer for ensileret pressekage medførte ensileringen samlet set en netto-gevinst i metanmængde på hhv. 1,4 og 1,1 %.



Figur 13. Akkumuleret metanpotentialer for frisk, upresset rajgræs, frisk fiberfraktion af rajgræs og ensileret fiberfraktion af rajgræs, høstet 7/6 2016 i Foulum. Ensilering foregik i 2 pilot-skala siloer indtil 2/5 2017. Metanpotentialer er bestemt ved batch-udrødning ved 39°C. Fejllinjer angiver standardafvigelsen for 2 delprøver gange 3 replikater pr. biomassetype, dog kun 1 delprøve gange 3 replikater for frisk, upresset rajgræs.



Figur 14. Akkumuleret metanpotentiale for frisk, upresset hvidkløvergræs, frisk fiberfraktion af hvidkløvergræs og ensileret fiberfraktion af hvidkløvergræs, høstet 29/9 2016 i Foulum. Ensilering foregik i en pilot-skala silo indtil 2/5 2017. Metanpotentialet er bestemt ved batch-udrådning ved 39°C. Fejllinjer angiver standardafvigelsen for 2 delprøver gange 3 replikater pr. biomassetype.

Hvorvidt det er mest fordelagtigt at anvende pressekagen til kvægfoder eller biogasproduktion afhænger af biomassens foderværdi og metanpotentiale samt den typiske markedspris for hhv. foder og biomasse til biogasproduktion. Som nævnt er der en vis usikkerhed mht. foderværdien og især metanpotentialet af pressekagen, men det må formodes, at biomasser med en høj foderværdi også har et relativt højt metanpotentiale. Desuden kan priserne på foder og biomasse til biogasproduktion variere afhængig af markedsf forholdene. Der er derfor lavet en analyse af ligevægtspriser for de to anvendelser af pressekagen, hvor der dels antages forskellige foderværdier og dels forskellige metanpotentiale.

I analysen er der antaget et askeindhold i pressekagen på 5,75 % (Ambye-Jensen, 2017), der er anvendt et interval i foderværdi mellem 1,2 og 1,4 kg tørstof pr. Norfor-foderenhed (FEN) og et interval i metanpotentiale mellem 250 og 350 ml metan pr. g VS. Ligevægtsprisen for pressekage til biogasproduktion er beregnet ud fra prisen til foder og med ved de forskellige antagelser om foderværdi og metanpotentiale.

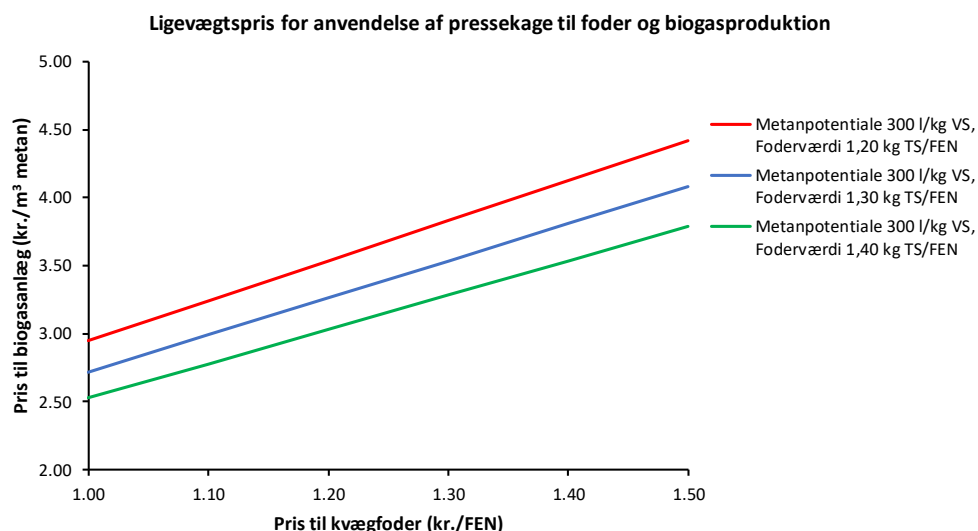
Figur 13 og 14 viser de beregnede ligevægtspriser. Prisprognosen for 2018 for græsensilage er 1,27 kr. pr. FEN til konventionelt foder og 1,52 kr. pr. FEN til økologisk foder (Farmtal Online, 2018), og siden foderværdien af pressekagen græs synes at være fuldt på højde med foderværdien af den oprindelige græsafgrøde, så er det nærliggende at sammenholde med dette prisniveau. For afsætning af biomasse til biogasproduktion kan der formodentlig være større udsving, bl.a. afhængig af de lokalt tilgængelige biomasse-

ressourcer, typen af biogasanlæg m.v. Det vurderes dog, at biogasanlæg næppe vil betale mere end 2,50 kr. pr. m³ metan i biomassen, og at denne pris kun vil kunne opnås for meget energirige og let anvendelige biomasser som fedt og glycerin, så biogasanlæg vil formodentlig kun betale noget under 2,50 kr. pr. m³ metan for pressekage (Kurt Hjort Gregersen, personlig kommunikation).

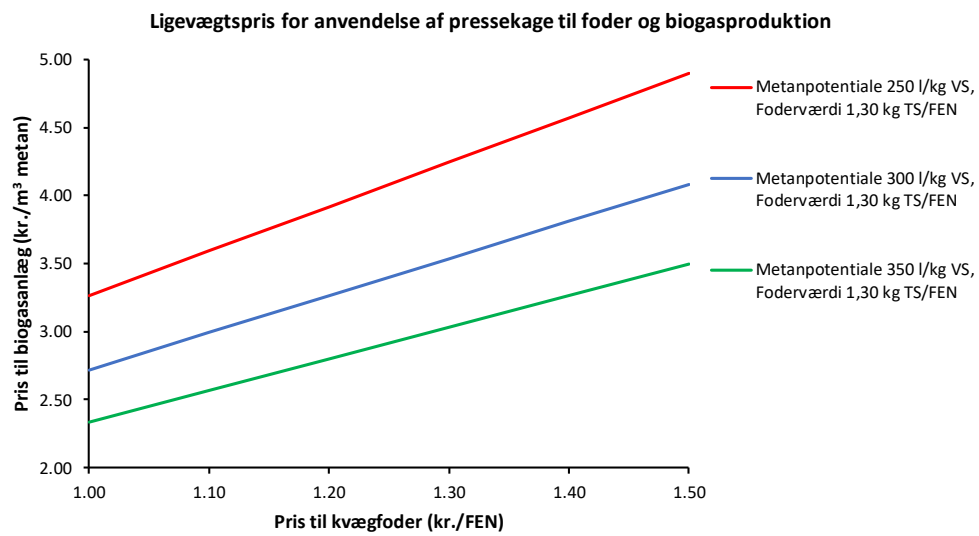
Med disse antagelser synes det i langt de fleste tilfælde at være mest økonomisk fordelagtigt at anvende pressekagen til kvægfoder fremfor til biogasproduktion. Lokale forhold såsom udbud og efterspørgsel efter foder og biomasse til biogasproduktion vil dog også kunne spille ind på prisrelationerne. Under alle omstændigheder er det stærkt ønskeligt med flere data både vedr. foderværdi og metanpotentiale for pressekagen, så den økonomiske værdi kan fastsættes med større sikkerhed.

Foder til økologisk kvægproduktion er noget dyrere end foder til konventionel produktion, og dette kan tale for at bruge økologisk pressekage til foder fremfor til biogasproduktion. I den økologiske produktion har næringsstofferne imidlertid også væsentligt større værdi, og derfor kan det være af stor interesse at anvende pressekage og brunvand til biogasproduktion og efterfølgende gødningsprodukter til økologisk planteavl.

Ved anvendelse af pressekage til biogasproduktion vil der ske en mineralisering af næringsstofferne, herunder nedbrydning af protein til ammonium hvilket vil forbedre kvaliteten som gødning. I forsøg med udrådning af pressekage sammen med brunvand (15+85 %) udgjorde indholdet af ammonium-N ca. 62 % af indholdet af total-N (Santamaría-Fernández et al., 2016). Dette er på niveau med eller lidt lavere end ammonium-andelen i andre typer afgasset gylle/digestat fra biogasanlæg, der i nyere forsøg har udgjort mellem 59 og 79 % af total-N (Hansen, 2017; Larsen, 2017). Dermed vil afgasset pressekage muligvis have en lidt lavere gødningsvirkning i udbringningsåret sammenlignet med anden biogasygyle, men til gengæld vil der så kunne forventes en større eftervirkning i de efterfølgende år.



Figur 13. Ligevægtspris for anvendelse af pressekage af græs til hhv. kvægfoder og biogasproduktion ved forskellige foderværdier for pressekagen. For begge anvendelser er der regnet med priser an gård/biogasanlæg.



Figur 14. Ligevægtspris for anvendelse af pressekage af græs til hhv. kvægfoder og biogasproduktion ved forskellige metanpotentialer for pressekagen. For begge anvendelser er der regnet med priser an gård/biogasanlæg.

5. Referencer

- Ambye-Jensen, M. (2017). Massebalance og næringsstofindhold i fraktioner ved raffinering af grøn biomasse. Aarhus Universitet. Data modtaget 20/11 2017.
- Bøgh, S.B. (2018). Personlig kommunikation, 2/3 2018. Svend Bjerre Bøgh, agrokonsulent, AKV.
- Farmtal Online (2018). Prognosepriser, Interne foderpriser, Farmtal Online, opdateret januar 2018. <https://farmtalonline.dlbr.dk/Navigation/NavigationTree.aspx?Farmtal=150>
- Hansen, M.N. (2017). Gødningsvirkning af afgasset gylle i vinterhvede. Oversigt over Landsforsøgene 2017, s.239-241.
- Hermansen, J.E. et al. (2017). Green biomass – protein production through bio-refining. DCA Report No. 093, February 2017. Aarhus University, Danish Centre for Food and Agriculture. 72 pages. <http://web.agrsci.dk/djfpublikation/djfpdf/DCArapport093.pdf>
- Hjort-Gregersen, K. (2018). Personlig kommunikation, 9/1 2018. Kurt Hjort-Gregersen, seniorspecialist, Teknologisk Institut.
- Larsen, S.U. (2017). Afgasset gylle til vårbyg. Oversigt over Landsforsøgene 2017, s.241-242.
- Santamaría-Fernández, M., Molinuevo-Salces, B., Kiel, P., Steinfeldt, S., Uellendahl, H. & Lübeck, M. (2017a). Lactic acid fermentation for refining proteins from green crops and obtaining a high quality feed product for monogastric animals. *Journal of Cleaner Production*, 162, 875-881.
- Santamaría-Fernández, M., Molinuevo-Salces, B., Lübeck, M. & Uellendahl, H. (2017b). Biogas potential of green biomass after protein extraction in an organic biorefinery concept for feed, fuel and fertilizer production. *Renewable Energy*, xxx, 1-7. In press.
- Santamaría-Fernández, M., Ytting, N.K., Lübeck, M. & Uellendahl, H. (2016). Anaerobic digestion for closing the loop of a biorefinery for organic farming: Production of biogas and organic fertilizer from process residues. Aalborg Universitet. Presentation on 1st International Conference on Bioresource Technology for Bioenergy, Bioproducts & Environmental Sustainability, Sitges, Spain, 23.-26. October 2016. <http://orgprints.org/31502/>, <http://orgprints.org/31502/1.hassmallThumbnailVersion/Santamaria%20-%20Fernandez%20-%20AD%20of%20Biorefinery%20residues.pdf>
- Schmidt, R. (2018). Personlig kommunikation, 2/3 2018. Richard Schmidt, teknisk direktør, Envotherm.
- Sørensen, L.S. (2017). Fodring med pulp-ensilage gav mere mælk i tanken. DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, Aarhus Universitet. Nyhed 17/10 2017. <http://dca.au.dk/aktuelt/nyheder/vis/artikel/fodring-med-pulp-ensilage-gav-mere-maelk-i-tanken/>

Weisbjerg, M.R. (2018). Personlig kommunikation, 8/1 2018 Martin Riis Weisbjerg, seniorforsker, Aarhus Universitet.