

Publicerede forsøg og resultater opnået i projekt 1 under BioValue Spir:	Ansvarlig	LOA/HEVP
	Oprettet	15-11-2017
	Side	1 af 16
Projekt: [2490, BioValue Spir - bioraffinering] Leverance 1		

Biovalue Spir Bioraffinering

Formålet med dette notat er at give et overblik over de undersøgelser og resultater, som er udført og publiceret i projektet Innovative biomasseproduktionssystemer, høst og lagringsteknologier under Biovalue Spir Platformen i perioden 2014-2017.

Formålet med projektet er at udvikle og optimere landbrugets biomasseproduktion, så den kan levere biomasser til bioraffinering på en bæredygtig måde, hvor udnyttelsen af produktionsarealet er optimeret, og omkostningerne til transport og produktion holdes nede.

De foreløbige publikationer omhandler udnyttelse af planterest- eller spildprodukter til bioraffinering, herunder biogasproduktion, samt optimering af biomasseproduktionen med henblik på at levere biomasse primært til en produktion af planteprotein.

Resumé af publicerede resultater

Omdannelse af restprodukter til værdiprodukter

I planteproduktionen kan der skabes en øget værdi under produktion af foder og fødevarer ved at fokusere på de sideprodukter, der kommer ved fremstillingen af hovedprodukter. Det kan eksempelvis være at optimere udnyttelsen af den halm, der produceres sammen med korn, at anvende roetoppen fra sukker- og foderroeproduktionen eller at opnå de højst mulige udbytter fra efterafgrøder, der siden kan anvendes til biogasproduktion.

Efterafgrøder

Udfordringen ved at skabe en merværdi fra efterafgrøderne ved at udnytte dem til biogasproduktion er et lavt høstudbytte, som gør, at høstudgifterne ikke modsvares af gevinsten i biogas. Efterafgrøder vil let kunne omsættes i en biogasreaktor. Halm produceres i større mængder end der er anvendelse for men halmen kan ikke direkte omsættes i biogasreaktorer, da den er svært nedbrydeligt pga. et højt ligninindhold og da den har tendens til at danne flydelag i reaktorerne. En mulig strategi for udnyttelse af efterafgrøder kunne være at lade mest muligt af halmstråene stå tilbage på marken ved høst af hovedafgrøden og efterfølgende høste strå og efterafgrøde sammen som biomasse til biogasproduktion. De udførte undersøgelser viste, at strategien kan give biomasseudbytter høje nok til en rentabel biogasproduktion. I undersøgelsen af Molinuevo-Salces et al. (2015) gav alle efterafgrøde/strå-kombinationer (efterafgrøde ca. 10 % af tørstof) et højere metanudbytte end halmstrå alene - for kombinationen af strandsvingel og strå var merudbyttet på hele 51 %. Tilsyneladende var der med den kombinerede høst af efterafgrøde og halm endda en positiv effekt på udnyttelsen af strået under biogasproduktionen, hvilket sandsynligvis skyldtes en begyndende nedbrydning, virkende som en forbehandling, af stråene, mens de står i marken. Nedbrydningen forårsagede kun et mindre massetab.

Ensilering

Friske grønne rest- eller spildprodukter vil være begrænset til et eller få tidspunkter på året og kvaliteten af produkterne forringes hurtigt ved suboptimal opbevaring. Hvis biomassen ydermere skal kunne benyttes i gasproduktionen året rundt, er der brug for en præserverende opbevaringsform. Her vil ensilering være en mulighed. Ensileringsprocessen kræver et initialt indhold af letomsættelige stoffer, som hurtigt kan fermenteres, danne syrer og sænke pH, således biomassen præserveres og yderligere omsætning forhindres. Desuden skal tørstofindholdet i biomassen være på ca. 30 %, for at processen skal forløbe optimalt. Ved en sam-ensilering af en frisk grøn biomasse og halm vil førstnævnte bidrage med letomsætteligt stof, mens stigende andele af halm vil øge det samlede tørstofindhold. I de her udførte

undersøgelser forløb processen optimalt i sam-ensilering af henholdsvis sukkerroerblade og halm og efterafgrøder og halm med tørstofindhold på ca. 30 % og ca. 32-36 %, hvorimod Molinuevi-Salces et al. (2015) observerede en ufuldstændig ensilering i alle efterafgrøde/strå-kombinationer med tørstofindhold på 37-45 %. Ensilering virker således som en brugbar løsning til præservering af halm og grønne rest- eller spildprodukter, hvis tørstofindholdet i biomassen holdes nær de anbefalede ca. 30 %, hvilket kan være en udfordring ved kombineret høst af strå og efterafgrøder.

En interessant effekt af ensileringsprocessen viste sig i begge undersøgelser med optimal ensilering, hvor metanudbyttet steg som følge af ensileringen. Dette skyldtes sandsynligvis en forbeholdende effekt under ensileringen på de svært nedbrydelige halmstrå. En mulig mekanisme kunne være, at en kombination af mikrobielt producerede enzymer og syrer under opbevaringen har gjort cellevæggens polysakkarider lettere tilgængelige under den efterfølgende biogasproduktion. I forsøg med efterafgrøder og halm fandt man en stigning i gaspotentialet med ensileringstiden på op til 37 % efter 10 måneder. Tilsvarende observeredes der for sukkerroerblade og halm en stigning i metanpotentialet ved ensilering på 22-24 %.

Opsummering

Resultaterne tyder på, at det kan være økonomisk fornuftigt at sam-høste halm og efterafgrøder og udnytte biomassen til biogasproduktion - dog vil det naturligvis være vigtigt, at efterafgrøden bidrager med en vis mængde. Sam-ensileringen af halm og grøn frisk biomasse, som sukkerroerblade eller anden grøn restbiomasse, virker meget lovende både pga. den præserverende effekt og pga. den forbeholdende effekt på halmen, som resulterer i en øget udnyttelse. Det er vigtigt, at ensileringsprocessen forløber korrekt.

Øget biomasseproduktion til bioindustrien

Bioindustrien (bioraffinering, biobrændstofproduktion) vokser, og der er således et behov for at øge biomasseproduktionen. Med udgangspunkt primært i en bioraffinering af planteprotein er der udført en række undersøgelser, som behandler muligheden for at imødekomme dette behov ved at optimere parametre som: Produktionsareal, biomasseudbytte, biomassekvalitet og miljøpåvirkning.

Der er en stærk interesse for at finde alternativer til den store europæiske import af soja-protein til dyrefoder. Et muligt alternativ kunne være planteprotein udvundet fra eksempelvis græs eller bælgeplanter, da disse har et højt proteinindhold med en fordelagtig sammensætning af aminosyrer. Bioraffineringsprocessen for udvinding af protein består af en mekanisk fraktionering, der producerer en væskefraktion indeholdende de opløselige og direkte udvindelige proteiner og en fast fraktion indeholdende bundet protein og plantefibre, der eventuelt kan udnyttes i bioenergiproduktion eller som foder til flermavede dyr.

Produktionsarealet

Den voksende efterspørgsel på biomasse til bioindustrien kan føre til ændret udnyttelse af landbrugsjorden således, at arealer brugt til fødevareproduktionen bliver mindre på bekostning af dedikeret biomasseproduktion. En måde at modvirke denne effekt vil være at producere biomasse på arealer uegnede til eksempelvis kornproduktion. Denne mulighed blev undersøgt af Larsen et al. (2016) for dyrkning af to flerårige græsser, strandsvingel og røgræs, og her fandt man, at det var muligt at producere årlige relativt høje biomasser, 14-18 ton tørstof/ha, selv på fugtige grove sandjorde under de rette gødningsmæssige forhold. En anden mulighed vil være at høste rest- eller spildbiomasse fra ikke-udnyttede arealer. Dette kunne være græs fra §3-arealer, hvor der er krav om vedligehold i form af slåning eller afgræsning, men ikke nogen egentlig udnyttelse af biomassen. En estimering af den potentielle biomasseproduktion fra sådanne arealer viste, at der er en anseelig mulig produktion (>236000 ton tørstof/år), men også at størrelsen på denne produktion er voldsomt afhængig af andelen af §3-arealer, som medtages i beregningen, disses biomasseproduktion, samt om tilstødende arealer eventuelt også kan udnyttes. Endelig stilles der i undersøgelsen spørgsmålstejn ved rentabiliteten i at høste disse ofte irregulære og svært tilgængelige arealer (Hinge et al. 2017).

Biomasseudbytte

Et øget biomasseudbytte per areal kan opnås gennem optimering af en række parametre. Først og fremmest bør man se på muligheden for at dyrke afgrøder, som producerer en høj biomasse. Dernæst kan man for de enkelte afgrøder optimere gødningsraten og, hvis det er relevant, timingen og antallet af høsttidspunkter over året. Endelig kan man via forædling søge at udvikle afgrødevarianter, som er optimeret for en højere biomasseproduktion.

En litteraturgennemgang viste, at en øgning af biomasseproduktionen på det eksisterende areal på ca. 10 millioner tons vil være mulig gennem bl.a. et øget areal med flerårige græsser, hvilket forventedes at være uden negative miljøkonsekvenser og med opretholdelse af eksisterende fødevareproduktion (Jørgensen og Lærke 2016). Tilsvarende viste Manevski et al. (2017), at man ved dyrkning af optimerede afgrøderotationer (majs, sukkerroe, havre, tritcale, vinterrug og -raps) og flerårige græsser kunne opnå årlige biomasseudbytter, 13,9 - 20,4 ton tørstof/ha, som klart overgik udbytterne for traditionelle rotationer og lå på niveau med kontinuert dyrket majs. De optimerede rotationer og flerårige græsser forventes desuden at have flere positive miljøeffekter, eks. jordforbedring og mindre udvaskningsrisiko, sammenlignet med de traditionelle afgrøder og rotationer.

Det er almindeligt kendt, at en forudsætning for optimering af biomasseudbyttet af en afgrøde er en optimal tilførsel af gødning. En undersøgelse af biomasseudbyttet af to flerårige græsser som funktion af gødningstilførsel viste, som forventet, at stigende tilførsel af kvælstof medførte en stigning i udbyttet, som aftog ved de højeste tilførselsrater (Larsen et al. 2016). Undersøgelsen viste dog også, at gødningstilførslen skal optimeres ikke bare på kvælstof, men også på kalium, da græsserne har et højt kaliumbehov, og udbyttet faldt kraftigt efter et par år uden kaliumtilførsel.

Manevski et al. (2017) konstaterede, at de flerårige græsser havde en opfangelse af fotosyntetisk aktiv stråling på niveau med eller under de enårige afgrøder, men derimod havde en mindre effektiv udnyttelse af den opfangede stråling til produktion af biomasse. Der er således via forædling muligvis en gevinst at hente, hvis der kan fremavles varianter med en bedre effektivitet.

Biomassekvalitet

Ved produktion af biomasse med henblik på udnyttelse i bioindustrien, er biomassens kvalitet, i form af indhold og sammensætning, naturligvis af lige så stor betydning som et højt biomasseudbytte. Det vil således være produktet eller produkterne af den specifikke produktionsproces, som bestemmer, hvilken komponent eller indhold, som optimeres for. I undersøgelserne, som behandles her, er det primære fokus som nævnt en produktion af planteprotein, og det vil således her være oplagt at optimere biomasseproduktionen til at give den størst mulige mængde udvundet protein per areal. Det skal tages med i betragtning, at fiberfraktionen, som produceres under raffineringprocessen, også har en værdi, der kan være værd at tage med i beregningen af den mest optimale biomassesammensætning.

Zolati et al. (2017A,B,C) undersøgte indholdet af råprotein, samt fraktionerne af opløseligt og bundet protein i en lang række afgrøder (se undersøgelsesresuméer) og konkluderede, at det er de flerårige græsser og bælgplanterne, lucerne, rød- og hvidkløver, som er interessante i forhold til en planteproteinproduktion. Ved den mekaniske udvinding af planteprotein er det kun den opløselige andel af planternes proteinindhold, som udvindes, og det er derfor umiddelbart kun planternes indhold af denne fraktion, som er interessant. Tilføjes produktionsprocessen en enzymatisk behandling, som kan frigøre den løst cellevægsbundne proteinfraktion, vil det naturligvis også være interessant at optimere i forhold til biomassens indhold af denne.

Det opløselige protein udgjorde størstedelen af det totale proteinindhold i de undersøgte græsser og bælgplanter, men der var store individuelle forskelle i indholdet af rå-, opløseligt og bundet protein mellem afgrøderne. Undersøgelserne viste ligeledes, at koncentrationen af opløseligt protein i biomassen faldt med planternes væksttid, men pga. den store biomassetilvækst steg mængden af opløseligt protein per areal med væksttiden - høststrategien skal derfor tilsyneladende vælges, så der høstes mest muligt biomasse per år. Både hvidkløver og lucerne var græsserne overlegne med hensyn til koncentrationen af opløseligt protein per tørstof, men på grund af græssernes store biomasseproduktion er de stadig interessante i en proteinproduktion, som ikke er kapacitetsbegrænset og specielt, hvor fiberfraktionen er værdifuld. Der blev ikke bestemt en årlig proteinproduktion for alle afgrøder, men rajsvingel og strand-

svingel gav potentielle udbytter af opløseligt protein på ca. 1000-1600 kg/ha og mulighed for yderligere ca. 500-1000 kg/ha ved frigørelse af den løst bundne fraktion.

Der blev fundet forskelle i indholdet af protein mellem stængler og blade, ligesom udviklingen af proteinindholdet over væksttiden var forskelligt. Bladene havde generelt en højere koncentration af opløseligt protein end stænglerne. For rødkløver og lucerne faldt koncentrationen af opløseligt protein i bladene ikke med væksttiden, som tilfældet for hele planter, hvorved en adskillelse af blade og stængel, hvis mulig, vil være interessant.

Ligesom væksttiden kan vækstforhold (eks. lys, næringsstoffer) påvirke planters indhold og sammensætning. Mængden af tilført kvælstof viste sig, i undersøgelsen af Baldwin et al. (2017), at medføre markante ændringer i cellevæggen hos hvede. Forfatterne undersøgte, hvorvidt de observerede ændringer havde betydning for en enzymatisk frigivelse af biomassens sukre - som i en bioethanolproduktion - og fandt ingen effekt. Lignende undersøgelser bør foretages for afgrøderne i en produktion af planteprotein.

Miljøpåvirkning

De forventede miljømæssige fordele ved dyrkning af flerårige græsser sammenlignet med enårige afgrøder inkluderer; mindre udvaskning af næringsstoffer, mindre behov for anvendelse af pesticider, samt en jordforbedrende effekt på grund af tilførsel af kulstof til jorden, mens en mulig negativ effekt kunne være en øget lattergasemission pga. græssernes høje gødningsbehov.

Jørgensen og Lærke (2016) nævner foreløbige målinger af kvælstofudvaskning, som sandsynliggør, at udvaskningen kan halveres ved at skifte fra kornafgrøder til intensiv græsproduktion. Effekten på lattergasemissionen kræver dog yderligere studier, men de første resultater viste en høstet kvælstofmængde tæt på den tilførte og dermed ikke rum for store emissioner.

Effekten af elefantgræsdyrkning på oplagringen af kulstof i jorden blev undersøgt, og her viste det sig, at elefantgræs binder betydelige mængder kulstof (11,9-18,2 ton C/ha) i rødder og rhizomer. Desuden tilfører elefantgræs kulstof til jordens pulje på niveau med bidraget set hos majs.

Opsummering

En øget biomasseproduktion på det eksisterende landbrugsareal synes let opnåeligt ved en overgang til nye afgrøderotationer og flerårige græsser, hvorimod biomasseproduktion fra uudnyttede områder, som §3 og tilstødende arealer, virker mere usikker både med hensyn til størrelsen af tilgængelige arealer og de praktiske forhold omkring høst af biomassen.

Det er de flerårige græsser og bælgeplanterne, der viste sig som de bedste kandidater til en fremtidig udvinding af planteprotein. Planternes indhold af udvindeligt protein var forskelligt mellem blade og stængler og ændredes over vækstperioden, og der er således mulighed for at optimere produktionen af biomasse mht. høsttidspunkter og eventuel adskillelse af blade og stængel. Ligeledes vil der være mulighed for at optimere gødningstilførslen - både i forhold til at producere mest mulig biomasse, men måske også til at maksimere indholdet af udvindeligt protein.

Omlægning til eks. flerårige græsser synes at have en del positive effekter på bl.a. udvaskning af kvælstof, oplagring og binding af kulstof i jorden, samt mindre forbrug af pesticider, sammenlignet med de traditionelle enårige afgrøder.

Resultater med umiddelbar interesse for videreformidling til Landbrugsinfo

Resultaterne angående udnyttelse og ensilering af halm og grønne spild/restprodukter kan forventes at være umiddelbart anvendelige, dels fordi biogasproduktion er veletableret og derfor tilgængelig og dels fordi resultaterne, specielt effekten af ensilering, virker meget fordelagtige. Desuden vil en udnyttelse af et spildprodukt være en umiddelbar gevinst.

Resultaterne, som relaterer sig til proteinudvinding, er særligt interessante grundet den stigende fokus på at producere plantebaseret protein til en-mavede dyr, særligt i den økologiske produktion, da foder til økologiske husdyr skal være af økologisk oprindelse og økologisk dyrket soja uden GMO er begrænset og dyrt. Processen med produktion af græsprotein til en-mavede dyr er dog stadig under udvikling.

Resultaterne angående muligheden for at øge biomasseproduktiviteten ved omlægning til nye optimerede afgrøderotationer kan have bred interesse, ligesom de mulige positive miljøeffekter kan have det.

Resumé af publicerede undersøgelser

Kombineret høst af halm og efterafgrøder til biogasproduktion

Efterafgrøder er letomsætteligt plantemateriale, som vil kunne udnyttes i biogasproduktion. Udbyttet af efterafgrøder er imidlertid for lavt til, at det er rentabelt at høste disse, hvorfor de i dag pløjes ned. En mulig løsning kunne være en kombineret bjærgning af halm og efterafgrøde, hvilket er blevet undersøgt i to forsøg, hvor udbyttet i en kombineret bjærgning er blevet undersøgt og sammenholdt med individuel høst af halm og efterafgrøder. Desuden har man undersøgt gaspotentialet af blandingen af halm og efterafgrøde efter ensilering fra 0-10 måneder.

Ved samlet høst af halm og efterafgrøder, skal kornet høstes således, at der efterlades mest muligt strå stående på marken. Dette kan gøres enten før modning med ribbebord, som skærer akset af, hvorefter kerner og aks finsnittes og ensileres, eller ved modning med mejetærsker med højt løftet skærebord.

Udbyttet af halm i den kombinerede høst af halm og efterafgrøder vil, uanset den anvendte teknik, være mindre end det halmudbytte, som kan opnås ved en traditionel halmbjærgning efter kornhøst. Dette skyldes dels, at en del af stråene vil blive kørt ned af mejetærsker eller finsnitter under kornhøsten, og dels at strået på grund af begyndende nedbrydning vil miste en del tørstof i perioden fra kornhøst til den kombinerede halm/efterafgrødehøst i oktober. I det ene af de to udførte forsøg udgjorde halmtabet pga. strå-nedkørsel af finsnitteren 17-27 %, mens tabet pga. begyndende nedbrydning var henholdsvis 0 og 1,6 ton tørstof/ha i de to forsøg. Kombineret høst af halm af vårbyg efter ribbehøst og efterafgrøderne; rajgræs, rødkløver og olieræddike, gav mellem 3,3 og 6,1 ton tørstof/ha.

Ensilering af halm og efterafgrøder forløb godt, og der blev fundet en positiv effekt af ensileringsperiode på gaspotentialet, der steg fra 208 m³ metan/ton DM uden ensilering til 286 m³ metan/ton DM efter 10 måneders ensilering og med kun et meget begrænset (<1 %) tørstofftab. Ensileringen vil desuden gøre biomassen anvendelig hele året. Med de målte gaspotentialer og udbytter i de to udførte forsøg blev der, afhængigt af efterafgrøde og lokalitet, produceret mellem 800 og 1245 m³ metan/ha ved kombineret høst af halm og efterafgrøde.

Forfatterne påpeger, at mulige problemer med eksempelvis indfødning og flydelag i biogasreaktorerne skal undersøges, før konceptets driftsøkonomi kan endeligt vurderes.

Publikation:

Larsen, S.U. 2017. Pænt gasudbytte fra halm og efterafgrøder. Biopress.

Større biogasudbytte ved kombineret høst af efterafgrøder og halm, samt opbevaring ved ensilering

Det lave udbytte ved høst af efterafgrøder gør det urentabelt at udnytte disse til biogasproduktion, da gasgevinsten ikke kan dække høstomkostningerne. Høstes efterafgrøden, som har et højt biogaspotential, derimod sammen med strået fra hovedafgrøden er der måske en økonomisk gevinst at hente. Dette spørgsmål blev undersøgt i et studie af Molinuevo-Salces et al. (2015), hvor metanudbyttet (m³/ha x år) blev kvantificeret som den primære parameter for syv forskellige eftergrøde/efterafgrødeblandinger høstet med strået fra en vårhvede-hovedafgrøde. Desuden undersøgte man, om der for en enkelt efterafgrøde var en effekt af strå-højden på biomasse- og metanudbytte. Endelig undersøgtes effekten af stråets opholdstid i marken inden høst på metan- og biomasseudbytte, samt effekten af ensilering på metanudbyttet.

Biomasseudbytterne lå på 3,2 - 3,6 ton tørstof/ha, hvoraf efterafgrøderne udgjorde 3-10 %, og der var ingen signifikant forskel mellem efterafgrøderne, ligesom efterafgrødernes såtidspunkt og tilførsel af gødning ikke viste nogen effekt. Alle efterafgrøde/strå kombinationer gav et højere metanudbytte per volatile solids (omsættelig del) sammenlignet med strå alene. Kombinationen af strandsvingel og strå gav det højeste metanudbytte, hvilket var 51 % højere end strå alene. Metanudbyttet blev bestemt til 486-702 m³/ha, hvilket er markant højere end den estimerede grænseværdi for rentabel metanproduktion på 276 m³/ha ved "lav høstomkostning" (134 €/ha).

Forfatterne beregnede produktionsomkostningerne for metan som funktion af biomasseudbyttet i tørstof per ha. Der blev opstillet scenarier med en høj og en lav høstomkostning, samt varierende tørstoffraktioner og metanudbytter. Omkostninger til høst og biomasseudbyttet havde stor betydning for produktionsomkostningerne af metan. Med udgangspunkt i de biomasse- og metanudbytter, som blev målt i dette studie, vil metanproduktionen være rentabel ved et biomasseudbytte på ca. 2,5 ton tørstof/ha ved det, der betegnes som en "høj høstomkostning" (200 €/ha). Høstudbytterne lå mellem 3,2 og 3,6 t tørstof/ha, hvorfor den testede strategi synes brugbar for en rentabel udnyttelse af efterafgrøder i biogasproduktion. Der blev ikke fundet nogen effekt af strå længde (40 vs. 55 cm) på biomasse- og metanudbyttet. Høsttidspunktet af strå (13, 44 vs. 78 dage efter høst af hovedafgrøde) havde ingen signifikant effekt på biomasseudbyttet, mens metanudbyttet viste sig at stige med tiden efter høst af hovedafgrøde. Dette skyldtes sandsynligvis en begyndende nedbrydning af strået i marken, som gør fibrenes sukre lettere tilgængelige under metanproduktionen.

Ensilering af strå og efterafgrøder havde ingen negativ effekt på metanudbyttet, undtaget var kombinationen med rødkløver. Tørstofindholdet var, pga. høj strå-andel, lidt høj i forhold til anbefalet niveau for ensilering, men ensileringen virkede tilsyneladende fint.

Konklusion:

Under de opgivne høstomkostninger og biogaspriser synes det at være en brugbar strategi at høste efterafgrøder og strå sammen til brug i biogasproduktion.

Der var en positiv effekt af at høste sent, og med ensilering kan biomassen opbevares til brug hele året uden negativ effekt på metanudbyttet.

Publikation:

Molinuevo-Salces, B.; Larsen, S. U.; Ahring, B. K.; Uellendahl, H. 2017. Biogas production from catch crops: Increased yield by combined harvest of catch crops and straw and preservation by ensiling. *Biomass and Bioenergy* 79, 3-11.

Metanproduktion fra sam-ensilerede halmstrå og sukkerroerblade

Udnyttelse af halm i biogasproduktion er problematisk, da stråene ikke nedbrydes let pga. et relativt højt indhold af lignin og kan danne flydelag pga. voksholdig hydrofob overflade. Generelt kræver udnyttelse af sådanne biomasser med megen lignin en form for forbehandling (eks. enzymatisk, fysisk/kemisk) for, at hemicelluloses og celluloses sukre bliver tilgængelige. Mange forbehandlingsteknikker er dyre og derfor uinteressante i forbindelse med biogasproduktion. Ensilering er en simpel og relativt billig teknik og har vist sig at have en forbehandlingseffekt på svært nedbrydelig biomasse. Ensileringsprocessen kræver et vist vandindhold og et initialt indhold af lettilgængelige sukre, som hurtigt kan omsættes til syrer, hvorved pH sænkes og biomassen præserves.

Larsen et al. (2017) undersøgte effekten af en sam-ensilering af sukkerroerblade (et spildprodukt) og halmstrå på metanproduktionen afhængigt af forskellige sammensætninger af strå og blade. Ensilering af de to biomasser hver for sig er ikke optimalt, pga. henholdsvis for højt og for lavt tørstofindhold. De friske roerblade har et lavt tørstofindhold og indeholder lettilgængelige sukre for den mikrobielle syreproduktion, mens stråene har et højt tørstofindhold og stort indhold af potentielt tilgængelige sukre.

Der blev kun fundet et ganske lille tab af omsætteligt stof (volatile solids) over ensileringsperioden, seks måneder (lab-skala) og ni måneder (pilot-skala), når andelen af strå var 25 %, svarende til en tørstofandel på ca. 30 %. Tabet steg markant, når andelen af roerblade var over 75 %.

For både lab-skala og pilot-skala ensileringsforsøg var der et signifikant højere biokemisk metanpotentiale, BMP (for bestemmelse se publikation) sammenlignet med den beregnede metanproduktion, en sum af metanproduktionen fra individuel udrådning af roerblade og strå. For en blanding bestående af 25 % strå og 75 % roerblade var der i pilot-skala forsøget således en synergistisk effekt på metanpotentialet af ensilering på 22-24 %.

Konklusion:

Halmstrå er tilsyneladende brugbare som fugtsugende biomasse til sam-ensilering med våd og letomsættelige biomasser som eks. roerblade.

Der var en synergistisk effekt af ensilering, som øgede BMP sammenlignet med uensileret materiale.

Dette skyldtes en forbehandlende effekt på stråene af ensileringsprocessen.

Der var ingen saftafløb og kun et gennemsnitligt massetab på 0,1 % ved ensilering af en blanding med 24 % strå og et tørstofindhold på 28,9 %.

Publikation:

Larsen, S.U., Hjort-Gregersen, K., Vazifehkhora, A.H., Triolo, J.M. 2017. Co-ensiling of straw with sugar beet leaves increases the methane yield from straw. Bioresource Technology, 245, Part A, 106-115.

Potentiel produktion af protein udvundet af græs fra §3- og tilstødende arealer

De såkaldte §3-områder er bestemte naturtyper, som er beskyttet gennem naturplejelovens §3 og udgør ca. 10 % af Danmarks areal. En stor del af disse er græsarealer, der kræver vedligehold i form af afgræsning eller slåning for at forblive sådan. Da biomassen på disse arealer således ikke udnyttes, vil en høst og bjærgning med henblik på anvendelse i bioraffineringsanlæg altså opfylde flere formål.

Som en indledende klarlæggelse af muligheden i at udnytte biomasse fra §3-arealer har Teknologisk Institut har foretaget et skrivebordsstudie, hvor man gennem eksisterende viden dels estimerer størrelsen af brugbart areal, mulig biomasse og proteinproduktion, og dels ser på gennemførligheden i form en gennemgang af mulige udfordringer for en sådan udnyttelse.

Arealet

De §3-områder, hvor der er mulighed for at høste biomasse og i forvejen er krav om vedligehold i form af slåning eller afgræsning, inkluderer følgende habitattyper: Heder, moser, overdrev, strandenge, strandsump og ferske enge. Det kan naturligvis ikke forventes, at der kan høstes biomasse fra det fulde areal af disse habitattyper og for den følgende estimering af det potentielt tilgængelige græsareal laver forfatterne følgende inddeling af §3-arealerne:

Kategori A: Arealer som kun kan benyttes til afgræsning

Kategori B: Arealer som kan benyttes til en kombination af afgræsning og slåning

Kategori C: Arealer som kan bruges til slåning

Hver kategori tilskrives i arealberegningen en procentandel, som kan forventes at være tilgængelig for slåning.

Der vil for mange §3-områders vedkommende være tilstødende græsarealer, der af forfatterne inddrages og inddeles i henholdsvis ekstensivt eller intensivt udnyttede. De ekstensivt udnyttede er primært permanente græsningsarealer og andre typer græsarealer, som ikke er inkluderet i §3-områder, mens de intensivt udnyttede indgår i en mere intensiv landbrugsmæssig produktion. Baggrunden for at inkludere disse områder i undersøgelsen er, at det ville give god økonomisk mening eventuelt at kunne høste disse sammen med høsten af §3-områderne. I beregningerne af potentielt tilgængelige arealer er disse ekstensivt og intensivt udnyttede områder enten medtaget med deres totale areal eller nedjusteret svarende til den brugbare procentandel af deres tilstødende §3-områder.

Areal af potentielt tilgængelige §3-områdekategorier med/uden tilstødende ekstensivt og intensivt udnyttede græsarealer:

§3-område kategori	Udelukkende §3-areal (ha)	§3-areal + nedjusteret tilstødende intensivt og ekstensivt udnyttede arealer (ha)	§3-areal + totale tilstødende ekstensivt og intensivt udnyttede arealer (ha)
Kategori C	149039	274436	410282
Kategori B+C	193057	356797	454300

Biomasse

Der vil naturligvis være store forskelle i biomasseproduktionen fra så vidt forskellige habitattyper, som omfattet i §3-områderne. Den estimerede årlige biomasseproduktion ligger således fra 500 kg tørstof/ha på heder og i moser, 2600-4800 kg tørstof/ha fra §3-engarealer og op til 5250 og 7800 kg tørstof/ha på

henholdsvis de ekstensivt og intensivt udnyttede tilstødende arealer. Forfatterne benytter estimerterne for biomasseproduktion til udregning af en potentiel årlig biomasse produktion for de forskellige §3-arealtyper og ekstensivt/intensivt udnyttede arealer.

Den estimerede årlige biomasseproduktion for §3-arealerne af kategori C og B+C, samt for disses tilstødende ekstensivt og intensivt udnyttede arealer - begge arealer nedjusteret i forhold den brugbare del af §3-arealerne:

Areal-betegnelse	Biomasseproduktion, §3-areal kategori C (ton tørstof/år)	Biomasseproduktion, §3-areal kategori C+B (ton tørstof/år)
§3-areal	236261-365316	289565-450513
Ekstensivt udnyttet	212378	274323
Intensivt udnyttet	662563	869606

For §3-arealerne ses, at den potentielle årlige biomasseproduktion er meget afhængig af hvilke arealer, der medtages i estimeringen og desuden, hvilken biomasseproduktionsrate, specielt for engarealer, der regnes med. Det er ligeledes tydeligt, at inkludering af tilstødende arealer potentielt har en enorm betydning for den årlige biomasseproduktion.

Proteinindhold og udbytte

Mængden af protein, der kan udvindes per areal, afhænger af mængden af biomasse og biomassens proteinindhold, og det vil således være relevant at søge en optimering af begge parametre. Én mulighed for at optimere både biomasse-mængden og biomassens proteinindhold er at finde det rette høsttidspunkt og antal af høsttidspunkter over året. Som illustration på dette fremhæver forfatterne et forsøg med rajsvingel og rødskov, hvor en strategi med to årlige høsttidspunkter gav 35 % mere protein per ha end en strategi med tre årlige høsttidspunkter. Biomasseproduktion og proteinindhold vil i mange tilfælde også kunne optimeres ved tilførsel af næringsstoffer.

På §3-arealer er der lovgivningsmæssige forhold, som ikke tillader/besværliggør de nævnte former for optimering, idet der er begrænsninger i forhold til høsttidspunkt og forbud mod gødskning. Der vil i praksis også være fysiske forhold, som periodevis oversvømmelse, der vil besværliggøre optimering af proteinudbyttet på disse arealer. For de ekstensivt og intensivt udnyttede arealer gælder retningslinjer for landbrugsproduktion.

Forfatterne opgiver en potentiel årlig proteinproduktion afhængende af, hvilke arealer, der inkluderes, samt estimerer for biomasseproduktion på dem. Estimerterne svinger fra 144369 ton råprotein/år for §3-arealer kategori C og tilstødende ekstensivt og intensivt udnyttede arealer, til 206455 ton råprotein/år for §3-arealer kategori B+C og tilstødende ekstensivt og intensivt udnyttede arealer. Medregnes det totale areal for de ekstensivt og intensivt udnyttede arealer kommer estimatet helt op på 295555 ton råprotein/år. Det skal bemærkes, at der er tale om det totale proteinindhold i biomassen og ikke forsøgt justeret til den proteinfraktion, som kan udvindes.

Gennemførlighed

Forfatterne peger på, at det har vist sig svært at gøre biogasproduktion fra græs fra §3-engarealer rentabelt, hvilket sandsynligvis også vil gøre sig gældende for en proteinproduktion fra græs - dette bakkes op af indledende økonomiske analyser. Heri peges der desuden på, at bioraffinaderiets energiforbrug sandsynligvis skal dækkes af restprodukter fra proteinudvindingen, før processen bliver økonomisk rentabel.

Et af de store spørgsmål i forhold til udnyttelsen af græs fra eksempelvis §3-engarealer er, hvorvidt høsten kan udføres effektivt eller begrænses af arealernes ofte irregulære udformning, behov for relativt små maskineri og periodevis ufremkommelighed.

Konklusioner

Der findes tilsyneladende store arealer, som potentielt kan udnyttes til proteinproduktion fra græs fra §3-engarealer. Størrelsen afhænger dog meget af hvilke antagelser, der gøres angående tekniske, lovgivningsmæssige og økonomiske spørgsmål.

Biomasseudbyttet og proteinindholdet af græs fra de undersøgte arealtyper vil variere meget, f.eks. afhængigt af muligheden for at tilføre gødning.

Stor-skala udnyttelse af græs fra §3 og tilstødende arealer afhænger meget af en yderligere udvikling og optimering af teknologien for raffinering af græsprotein, hvilket kan sænke produktionsomkostningerne. Ydermere vil den fremtidige proteinpris være af stor betydning.

Publikation:

Hinge, J., Larsen, U.S., Pedersen, J. (2017). Desk study on potential protein production based on grass from meadows. DTI rapport, Danish Technological Institute.

Test af nye afgrøder og rotationer med henblik på optimeret produktion af biomasse til bioraffinering

En voksende efterspørgsel på biomasse fra bioindustrien (bioraffinering, biobrændstofproduktion) kan føre til ændret udnyttelse af landbrugsjorden, således at arealer brugt til fødevareproduktionen bliver mindre eller nye arealer tages i anvendelse. En måde at modvirke denne effekt vil være at øge biomasseproduktiviteten på det eksisterende areal, sådan at fødevareproduktionen kan bibeholdes, samtidig med at biomasse kan stilles til rådighed for den voksende bioindustri. Dette kunne gøres ved at ændre afgrødestrategi til afgrøder og afgrøderotationer optimeret for større biomasseproduktion. Manevski et al. (2017) udførte en undersøgelse, hvor man testede produktiviteten af to sådanne optimerede afgrødestrategier, henholdsvis et udvalg af flerårige græsser og en ny optimeret afgrøderotation, op imod tre mere traditionelle nordeuropæiske strategier: kontinuert majs, kontinuert tritcale og en rotation bestående af vårbyg, vinterbyg og vinterraps. De optimerede strategier bestod af henholdsvis majs, roer, hamp, tritcale med græs/kløver og vinterrug sået som efterafgrøde (forsøgssted Foulum) og majs, vinterrug (efterafgrøde) og hamp eller havre (forsøgssted Jyndevad). De flerårige afgrøder var på forsøgssted Foulum: Rajsvingel, rørgræs, strandsvingel, hundegræs, græs/kløver, elefantgræs og på forsøgssted Jyndevad: Hundegræs, rørgræs, strandsvingel, græs/kløver og elefantgræs.

Udover undersøgelsen af biomasseproduktiviteten blev afgrødernes effektivitet i dels at opfange fotosyntetisk aktiv stråling og dels at udnytte den opfangede stråling til produktion af biomasse bestemt. Dette kan bruges til at vurdere, om der er et potentiale for yderligere optimering af produktiviteten gennem planteforædling af de enkelte afgrøder.

Biomasse

Der blev observeret signifikante forskelle mellem de fire forsøgsår, mellem afgrødesystemer og de to forsøgssteder (lerblandet sandjord, Foulum vs. sandjord, Jyndevad). De højeste gennemsnitlige årlige biomasseproduktioner var for begge forsøgssteder fundet blandt de flerårige græsser, med 20,4 ton tørstof/ha for rajsvingel i Foulum og 18,5 og 17,7 ton tørstof/ha for strandsvingel i henholdsvis Foulum og Jyndevad. De øvrige flerårige græsser og de optimerede afgrøderotationer på begge forsøgssteder, samt kontinuert majs i Foulum fulgte lige efter med biomasseproduktioner på 15,2 - 17,6 ton tørstof/ha og 13,9 - 15,3 ton tørstof/ha i henholdsvis Foulum og Jyndevad. De laveste biomasseproduktioner blev observeret for de traditionelle afgrøderotationer med 11,0-12,9 ton tørstof/ha, samt græs/kløver med 8,7-11,9 ton tørstof/ha. For elefantgræs blev der set en etableringseffekt, hvor den årlige produktion steg markant over de tre forsøgsår, hvorved den gennemsnitlige produktion ikke giver et retvisende billede. Fotosyntetisk aktiv stråling

Som forventet havde de flerårige græsser de højeste værdier af årlig opfanget stråling, da de har biomasse hele året. Det viste sig dog, at de enårige afgrøder generelt enten var på niveau med eller havde en højere udnyttelse af den opfangede stråling, og biomasse produceret per MJ stråling opfanget, sam-

menlignet med de flerårige græsser. Ved kvantificering af den producerede biomasse oven jord, dog selve roen medtaget for roer, viste det sig at være roer og majs, som har den højeste udnyttelseeffektivitet af den opfangede stråling.

Konklusion

Det var tydeligt, at der med de optimerede afgrøderotationer og flerårige græsser kunne opnås en biomasseproduktion, som lå signifikant højere end traditionelle rotationer og mindst på niveau med kontinuert majs - svingende afhængigt af år. De meget diverse optimerede rotationer har, sammenlignet med kontinuert majs, yderligere den fordel, at de over længere tid kan drage fordel af en øget jordfrugtbarhed og større resistens mod patogener. Flerårige græsser og højtydende nye afgrøderotationer kan konkluderes at være mulige kandidater til at møde bioindustriens stigende behov for biomasse.

Der lader til for de flerårige græsser at være et potentiale for at udvikle varianter med en mere effektiv udnyttelse af den opfangede stråling og deraf følgende større biomasseproduktion.

Forfatterne påpeger, at det er vigtigt at kende langtidseffekterne af de undersøgte nye afgrøderotationer og flerårige græsser, men de virker umiddelbart som en brugbar strategi til at optimere biomasseproduktionen per areal.

Publikation:

Manevski, K., Lærke, P.E., Jiao, X., Santhome, S., Jørgensen, U. 2017. Biomass productivity and radiation utilisation of innovative cropping systems for biorefinery. *Agricultural and Forest Meteorology*, Volume 233, 15, 250-264.

Udbytte og proteinindhold i mulige kandidater for produktion af planteprotein

Der er en stærk interesse for at finde alternativer til den store europæiske import af soja-protein til dyrefoder. Et muligt alternativ kunne være planteprotein udvundet fra eksempelvis græs eller bælglplanter, da disse har et højt proteinindhold med en fordelagtig sammensætning af aminosyrer. Bioraffineringsprocessen for udvinding af protein består af en mekanisk fraktionering, der producerer en væskefraktion indeholdende de opløselige og direkte udvindelige proteiner og en fast fraktion indeholdende plantefibre og dertil bundne proteiner, som kun kan udvindes ved yderligere behandling (evt. enzymatisk eller kemisk) af plantemassen.

Som et led i udviklingen af en fremtidig raffineringsproces til udvinding af planteprotein er det nødvendigt, at der optimeres i forhold til plantemassens indhold af udvindeligt protein og produktionen per ha. Den udvindelige del af planters proteinindhold varierer naturligvis mellem plantearter, men varierer også over vækstperioden og mellem forskellige plantedele.

Zolati et al. (2017A+B) undersøgte, hvordan indholdet af forskellige proteinfraktioner i tre bælglplanter og to flerårige græsser varierede henover foråret både i hele plantemassen og i blade og stængel. De undersøgte afgrøder var hvid- og rødkløver, lucerne, rajgræs og strandsvingel, som blev høstet til seks gange henover foråret. For hver høst blev tørstofudbyttet, fiber- og proteinindholdet bestemt. Proteinindholdet blev yderligere fraktioneret i A, B₁, B₂, B₃ og C-fraktioner, hvoraf B₁ og B₂ er den opløselige og direkte udvindelige proteinfraktion, mens B₃ er cellevægsbundet protein, som eventuelt kan udvindes ved enzymatisk behandling. Fraktion A er opløselig og dermed direkte udvindelig, men består ikke af ikke-proteinogene aminosyrer og andre kvælstofholdige stoffer, mens fraktion C er utilgængeligt associeret med fiberfraktionen. Endelig blev der for to af tidspunkterne kvantificeret proteinfraktioner i adskilte blade og stængler.

Tørstofudbytte og råproteinindhold

Tørstofudbyttet (ton/ha) steg for alle afgrøder fra første til sidste høst og var størst ved den sidste høst for rajgræs med ca. 8 tons/ha. Koncentrationen af råprotein per tørstof faldt derimod i alle afgrøder henover over den undersøgte periode og var højest i hvidkløver med koncentrationer på 210-290 g/kg tørstof.

Proteinfraktioner

Den udvindelige fraktion, B_1+B_2 , udgjorde størstedelen af råproteinet, men faldt henover den undersøgte vækstperiode både som andel af råprotein og som andel af tørstoffet. Lucerne og hvidkløver havde de højeste koncentrationer af udvindeligt protein, B_1+B_2 , målt som andel af tørstof. Som følge af den store tilvækst i tørstof over perioden, steg den udvindelige fraktion per areal dog for alle afgrøder, på nær rødkløver, og toppede omkring 5. høsttidspunkt med ca. 320-420 kg/ha. Det viste sig, at hvis B_3 -fraktionen blev medregnet til den udvindelige protein, var rødkløver den langt mest produktive med >700 kg/ha ved 4. høsttidspunkt.

Proteinfraktioner i plantedele

Koncentrationen af den udvindelige fraktion, B_1+B_2 , var for alle afgrøder højere i blade sammenlignet med stængel, med de højeste koncentrationer i bælgeplanter sammenlignet med græsserne. I blade af græsserne og hvidkløver faldt koncentrationen af B_1+B_2 over tid, mens dette ikke var tilfældet for rødkløver og lucerne. Dette betyder, at for disse to afgrøder vil en adskillelse af stængel og blade til henholdsvis fiber- og proteinproduktion muligvis være interessant.

Konklusion

Lucerne og hvidkløver var græsserne overlegne som kandidater til en produktion af planteprotein, hvis mængden af udvindelig protein opgøres per tørstof.

Bælgeplanterne og græsserne gav meget sammenlignelige udbytter af opløseligt protein per ha.

Det er vigtigt at optimere høsttidspunktet og huske på, at der udover årets første høst, som undersøgt her, skal optimeres i forhold til én eller to yderligere høsttidspunkter.

Udvikles bioraffineringssteknologien, så den cellevægsbundne proteinfraktion B_3 også udvindes, vil der være en stor gevinst i rødkløver.

De observerede forskelle i proteinindhold mellem blade og stængel åbner op for yderligere optimeringsmuligheder i forhold til protein/fiberproduktion, men kræver naturligvis, at blade og stængler kan adskilles ved høst.

Publikationer:

Solati, Z., Jørgensen, U., Eriksen, J. and Søgaard, K. 2017A. Dry matter yield, chemical composition and estimated extractable protein of legume and grass species during the spring growth. *Journal of the science of food and agriculture* 97(12), 3958-3966.

Solati, Z., Jørgensen, U., Eriksen, J. and Søgaard, K. 2017B. Estimation of extractable protein in botanical fractions of legume and grass species. *Graas and Forage Science*.

Udbytte af råprotein og udvindeligt protein i potentielle kandidater til produktion af planteprotein

I den ovenfor refererede undersøgelse af Manevski et al. (2017) var der primært fokus på biomasseproduktionen af nye optimerede afgrøderotationer og flerårige græsser sammenlignet med mere traditionelle afgrødesystemer. I nærværende undersøgelse af Solati et al. (publiceret i PhD-afhandling, 2017) har man, med udgangspunkt i samme dyrkningsforsøg som behandlet i Manevski et al. (2017), fokuseret på proteinudbyttet og mængden af udvindeligt protein per ha. Specielt den udvindelige mængde protein per ha er interessant i forhold til at optimere proteinproduktionen økonomisk. Proteinet er blevet fraktioneret og kvantificeret efter samme metode som i undersøgelserne af Solati et al. (2017A+B) beskrevet ovenfor.

Råprotein

Der blev blandt de undersøgte afgrøder kun for græsserne og græs/kløver-kombinationerne fundet en direkte sammenhæng mellem biomasse og råprotein per ha. Da disse afgrøder samtidig producerede høje biomasser, er de interessante fra en proteinproduktionsmæssig vinkel, hvorimod eks. elefantgræs ikke var helt så lovende, da den godt nok viste en potentiel rigtig høj biomasseproduktion, men ikke havde en høj råproteinkoncentration. Græs/kløver-kombinationerne havde lavere råproteinudbytte end de

rene græsser, men pga. det manglende behov for tilførsel af gødning kan disse stadig vise sig fordelagtige fra en økonomisk betragtning.

Udvindeligt proteinudbytte

Der er ikke nødvendigvis nogen sammenhæng mellem planternes indhold af råprotein og mængden af udvindeligt protein, da kun dele af råproteinet er direkte udvindeligt, andet er udvindeligt ved hjælp af forskellige behandlingsteknikker og endelig er noget uadskilleligt bundet til fiberfraktionen. Fra landmandens synsvinkel kan det umiddelbart være vigtigst at producere så høj en mængde udvindeligt protein per ha som muligt, mens det fra bioraffinaderiets synsvinkel, måske pga. kapacitetsbegrænsning, kan være vigtigst at få biomasse med en så høj mængde udvindeligt protein per mængde tørstof som muligt. Blandt de her undersøgte afgrøder/afgrødekombinationer gav græsserne, rajsvingel og strandsvingel, de højeste mængder (1001-1640 kg/ha i 2013 og 1025-1377 kg/ha i 2014) udvindeligt protein både på ha og tørstofbasis. Der vil her ligeledes være yderligere ca. 500-1000 kg/ha at hente, hvis den cellevægsbundne fraktion, B₃, kan udvindes.

Konklusion:

Græsserne var de traditionelle og optimerede rotationer af enårige afgrøder overlegne i produktionen af råprotein.

Rajsvingel og strandsvingel gav konsistent højere mængder af udvindeligt protein end alle andre afgrøder.

Græs/kløver gav middelhøje mængder af udvindeligt protein per ha, men på grund af det manglende behov for gødning er de muligvis stadig økonomisk interessante.

Publikation:

Solati, Z. 2017C. PhD dissertation. Production of protein in grassland species and innovative cropping systems: Quantity and quality for extraction. Aarhus University.

Kvælstoftilførslen påvirker cellevæggen i hvedestrå, men ikke muligheden for enzymatisk nedbrydning

Biobrændstof produceret fra lignocellulose har potentiale til at levere en væsentlig del af vores energibehov. Hvedestrå er én blandt mange "rest-biomasser", som vil kunne udnyttes i en produktion af biobrændstof. Den store udfordring ved at udnytte lignocellulose er frigørelsen af cellulose og hemicellulose til sukker, således at disse kan fermenteres til eks. ethanol. Denne proces kan optimeres på mange måder og én af disse er at benytte biomasse, som er mest mulig modtagelig for forbehandling og den efterfølgende enzymatiske frigørelse af sukker. Det er kendt, at vækstforholdene (eks. lys, næringsstoffer) kan påvirke sammensætningen af planters cellevægge og dermed deres anvendelighed i en biobrændstofproduktion, men der foreligger ingen specifik viden om, hvordan mængden af kvælstof påvirker cellevæggenes sammensætning hos hvedestrå.

Baldwin et al. (2017) udførte en undersøgelse af cellevæggenes sammensætning hos hvede ved tre rater af kvælstoftilførsel (50, 100, 150 kg N/ha). Der blev høstet plantemateriale til tre tider repræsenterende forskellige vækststadier. Materialet (2. internode, blade og hele strå) blev analyseret bl.a. for indhold af kvælstof og silikat, samt cellevæggenes indhold af cellulose, lignin og protein. Endelig blev den enzymatiske nedbrydningseffektivitet kvantificeret for at undersøge, om de eventuelle sammensætningsmæssige forskelle i biomassen havde nogen effekt på udvindingen af sukker og dermed anvendeligheden i biobrændstofproduktion.

Der blev som ventet observeret effekter af stigende kvælstoftilførsel, men de fleste af disse blev observeret udelukkende ved de to tidlige høsttidspunkter eller mellem plantedele. Enkelte effekter sås for modne hele strå og kan forventes at ville have en effekt på effektiviteten af udnyttelsen i en biobrændstofproduktion:

1. Der blev observeret en stigning i cellevæggens indhold af strukturelle glycoproteiner med stigende tilførsel af kvælstof, hvilket muligvis kan hæmme den enzymatiske frigørelse af sukker fra cellevæggen.
2. Stigende kvælstoftilførsel førte til færre krydsbindinger mellem cellevæggens hemicellulose og aromatiske komponenter som ferulinsyre, hvilket må forventes at give en svagere cellevægskonstruktion og dermed friere enzym-adgang til polysakkariderne.
3. Der blev observeret en positiv sammenhæng mellem de modne stråes ligninindhold og tilførslen af kvælstof. Da lignin er den primære strukturelle hindring for den enzymatiske frigivelse af sukker fra cellevæggens polysakkarider, vil man forvente en nedsat enzymatisk effektivitet med stigende lignin. Der blev ikke observeret nogen effekt af kvælstoftilførsel på hverken indholdet af cellulose eller den enzymatiske nedbrydningseffektivitet af biomassen.

Konklusion:

Cellevægsstrukturkomponenter som lignin og glycoproteiner blev stimuleret af stigende kvælstoftilførsel, men der blev ikke fundet nogen effekt på den enzymatiske nedbrydningseffektivitet.

Publikation:

Baldwin, L., Glazowska, S., Mravec, J., Fangel, J., Zhang, H., Felby, C., Willats, W.G. and Schjoerring, J.K. 2017. External nitrogen input affects pre- and post-harvest cell wall composition but not the enzymatic saccharification of wheat straw. *Biomass and Bioenergy* 98, 70-79.

Omlægning til græs - fordele og ulemper

Jørgensen og Lærke (2016) opsummerer i nedenstående artikel fordele, ulemper og mulighederne i at omlægge en del af det nuværende produktionsareal fra enårig korn- og frøproduktion til flerårige afgrøder.

To af dansk landbrugs største udfordringer er den enorme afhængighed af importeret soja-protein til foder og kravene til nedbringelser af de miljømæssige påvirkninger fra landbruget. En mulig del af løsningen på disse udfordringer kunne være at omlægge en del af planteproduktionen til flerårige græsser, hvilke har en række miljømæssige fordele sammenlignet med enårig afgrøder, samt et potentiale for at kunne udnyttes i en produktion af højværdi planteprotein, der kan udnyttes som erstatning for importeret foderprotein.

De miljømæssige fordele ved dyrkning af flerårige græsser sammenlignet med enårig afgrøder inkluderer mindre tab af næringsstoffer, mindre behov for anvendelse af pesticider, samt en jordforbedrende effekt på grund af tilførsel af kulstof til jorden. Forfatterne nævner foreløbige målinger af kvælstofudvaskning, som sandsynliggør, at udvaskningen kan halveres ved at skifte fra kornafgrøder til intensiv græsproduktion. På grund af den observerede direkte relation mellem gødningsmængde og lattergasemission, må der umiddelbart vurderes at være en risiko for øget lattergasemission, da græsserne kræver høj tilførsel af gødning. Dette kræver dog yderligere studier, men de første resultater viser en høstet kvælstofmængde tæt på den tilførte og dermed ikke rum for store emissioner.

En produktion af planteprotein til dyrefoder for enmavede dyr vil først og fremmest have den fordel, at man vil blive løst for en del af afhængigheden af sydamerikansk soja-protein, der ofte er produceret med GMO, og sårbarhed overfor prisstigninger som følge af afhængigheden. Derudover vil der sandsynligvis være miljømæssige fordele i de soja-producerende lande, samt en mulighed for økologiske produktionssystemer for at fremstå mere pålidelige, end det er tilfældet ved brug af importeret soja-protein. Udover proteinproduktionen vil raffineringprocessen producere en fiberfraktion, som har potentiale som foder for flermavede dyr eller til produktion af bioenergi.

Forfatterne refererer et skrivebordsstudie lavet over muligheden for og effekten af at øge biomasseproduktionen fra land- og skovbrug med 10 millioner tons uden at forårsage en reduktion i fødevareproduktionen. Her viste det sig, at i et miljøoptimeret scenarie vil der kunne leveres den ønskede ekstra bio-

masse, samtidig med en fastholdelse af fødevareproduktionen, hvis man udvikler en effektiv proteinproduktion fra græs. I scenariet blev der ydermere estimeret en reduktion i nitratudvaskningen svarende til den, som kræves for at leve op til målene i vandrammedirektivet.

Publikation:

Jørgensen, U. og Lærke, P.E.: Merproduktion og mindre udledning i græsmarken – Omlægning til flerårige græsser kan sikre opfyldelse af en række miljømålsætninger i landbruget og understøtte en lokal produktion af protein. Tidsskrift for Landøkonomi, 2016/3. 202. årgang. side 193-202

Udbytte af røgræs og strandsvingel som funktion af N og PK gødningsmængder

Ønsket om at øge produktionen af biomasse per areal mødes naturligvis af et krav om, at dette skal ske uden negative effekter for miljøet i form af eksempelvis øget kvælstofudvaskning eller øget brug af pesticider. Det har vist sig, at flerårige afgrøder, som eks. græsser, kan være svaret på denne udfordring - måske især på relativt fugtige grove sandjorde ikke specielt egnede til kornproduktion.

Biomasseudbyttet af flerårige græsser er meget afhængigt af tilførslen af kvælstof og kalium, og det er derfor meget væsentligt at kende effekten af kvælstof- og kalium-tilførselsrater på udbyttet og kvælstof-optaget i planterne. Larsen et al. (2016) gennemførte en undersøgelse over tre år på grov sandjord af biomasseudbytte og kvælstofoptagelse i to flerårige græsser, strandsvingel og røgræs, som funktion af raten (0, 150, 300, 450 kg N/ha) af kvælstoftilførsel, samt to rater (0 og 257 kg K/ha) af forfor-kaliumtilførsel.

Der viste sig som forventet en klar effekt på biomasseudbyttet for begge græsser af stigende kvælstoftilførsel, som dog aftog ved de højeste tilførsler. Fosfor-kaliumtilførsel øgede ligeledes biomasseudbyttet, og i 2. og 3. forsøgsår var der en interaktion med kvælstoftilførslen, idet effekten af kvælstof aftog ved tilførsel af 0 kg K/ha. Dette var sandsynligvis en effekt af en gradvis udtømning af den tilgængelige mængde kalium i jorden.

Af kvælstofbalancen kunne man se, at der ved lav kvælstoftilførsel blev fjernet mere kvælstof, end der blev tilført, mens det modsatte var tilfældet ved høj kvælstoftilførsel. For at bevare jordens kvælstofpulje og undgå forhøjet risiko for udvaskning, er det vigtigt at balancere kvælstoftilførslen - for de tre forsøgsår var balancen i kvælstoftilførsel og -optag på 244, 187 og 172 kg N/ha ved samtidig tilførsel af kalium.

Konklusion:

Strandsvingel og røgræs kan producere relativt høje biomasseudbytter på fugtig sandjord, hvis den rette mængde gødning tilføres, og kan altså være en bæredygtig løsning for biomasseproduktion på sådanne jorde.

Relativt høje mængder kvælstof kan tilføres med begrænset risiko for øget udvaskning.

Publikation:

Larsen S.U., Jørgensen U., Lærke P.E. 2016. Biomass Yield and N Uptake in *Tall Fescue* and *Reed Canary Grass* Depending on N and PK Fertilization on Two Marginal Sites in Denmark. In: Barth S., Murphy-Bokern D., Kalinina O., Taylor G., Jones M. (eds) *Perennial Biomass Crops for a Resource-Constrained World*. Springer, Cham.

Lagring af kulstof i rhizomer, rødder og jord ved dyrkning af elefantgræs

Sammenlignet med enårige afgrøder bliver flerårige bioenergi afgrøder ofte tilskrevet både miljø- og klimamæssige fordele, og blandt disse er en øget oplagring af kulstof i jorden. For at kunne indregne en sådan effekt i beregninger af effekten af omlægning til bioenergi afgrødesystemer er det vigtigt at have solide eksperimentelle data.

Christensen et al. (2016) undersøgte akkumuleringen af kulstof i rødder, rhizomer og jord under 16 år gamle stande af elefantgræs, *M. sinensis* og *M. xgiganteus* på lerblandet sandjord og *M. sinensis* på

sandjord. Andelen af kulstof i jorden stammende fra elefantgræs blev estimeret ud fra indholdet af ^{13}C , som diskrimineres mindre imod af C4-fotosyntese (elefantgræs) end af C3-fotosyntese (forrige vegetationsår på forsøgsstederne).

Begge arter af elefantgræs indeholdt store mængder materiale i form af rhizomer og rødder. *M. x giganteus* udgjorde 15,1 ton DM/ha i de øverste 20 cm jord, svarende til et kulstofindhold på 6,1 ton C/ha, mens *M. sinensis* udgjorde 8,3 og 7,5 ton DM/ha i de øverste 20 cm jord på henholdsvis lerblandet sandjord og sandjord, svarende til 3,8 og 3,6 ton C/ha.

Kulstof stammende fra elefantgræsset udgjorde i de øverste 20 cm af jorden 11,9-18,2 ton C/ha, hvoraf kulstof i rødder og rhizomer udgjorde 23-34 %, mens kulstof i jorden (ikke rhizomer og rødder) stammende fra elefantgræs udgjorde 15-18 % af den totale kulstofpulje i jorden. Dybere i jorden (20-100 cm) udgjorde kulstof stammende fra elefantgræs (ikke rhizomer og rødder) 7-12 % af den totale kulstofpulje. Disse bidrag af elefantgræs-afledt kulstof ligger på niveau med værdier bestemt for majs, der dog ikke gemmer yderligere kulstof i rhizomer og rødder.

Konklusion:

Efter 16 år indeholdt jorden betydelige mængder kulstof stammende fra elefantgræs - rhizomer og rødder udgjorde 23-34 % af denne pulje.

Bidraget til oplagret kulstof fra elefantgræs er på niveau med observationer for majs. Elefantgræsset indeholder dog yderligere kulstof i rødder og rhizomer.

Publikation:

Christensen, B. T., Lærke, P. E., Jørgensen, U., Kandel, T., & Thomsen, I. K. 2016. Storage of Miscanthus-derived carbon in rhizomes, roots, and soil. Canadian Journal of Soil Science, 96(4), 354-360.

Referenceliste

Baldwin, L., Glazowska, S., Mravec, J., Fangel, J., Zhang, H., Felby, C., Willats, W.G. and Schjoerring, J.K. 2017. External nitrogen input affects pre- and post-harvest cell wall composition but not the enzymatic saccharification of wheat straw. Biomass and Bioenergy 98, 70-79.

Christensen, B. T., Lærke, P. E., Jørgensen, U., Kandel, T., & Thomsen, I. K. 2016. Storage of Miscanthus-derived carbon in rhizomes, roots, and soil. Canadian Journal of Soil Science, 96(4), 354-360.

Hinge, J., Larsen, S.U., Pedersen, J. (2017). Desk study on potential protein production based on grass from meadows. DTI rapport, Danish Technological Institute.

Jørgensen, U. og Lærke, P.E.: Merproduktion og mindre udledning i græsmarken – Omlægning til flerårige græsser kan sikre opfyldelse af en række miljømålsætninger i landbruget og understøtte en lokal produktion af protein. Tidsskrift for Landøkonomi, 2016/3. 202. årgang. side 193-202

Larsen S.U., Jørgensen U., Lærke P.E. 2016. Biomass Yield and N Uptake in *Tall Fescue* and *Reed Canary Grass* Depending on N and PK Fertilization on Two Marginal Sites in Denmark. In: Barth S., Murphy-Bokern D., Kalinina O., Taylor G., Jones M. (eds) Perennial Biomass Crops for a Resource-Constrained World. Springer, Cham.

Larsen, S.U. 2017. Pænt gasudbytte fra halm og efterafgrøder. Biopress.

Larsen, S.U., Hjort-Gregersen, K., Vazifehkhoran, A.H., Triolo, J.M. 2017. Co-ensiling of straw with sugar beet leaves increases the methane yield from straw. Bioresource Technology, 245, Part A, 106-115.

Manevski, K., Lærke, P.E., Jiao, X., Santhome, S., Jørgensen, U. 2017. Biomass productivity and radiation utilisation of innovative cropping systems for biorefinery. *Agricultural and Forest Meteorology*, Volume 233, 15, 250-264.

Molinuevo-Salces, B.; Larsen, S. U.; Ahning, B. K.; Uellendahl, H. 2017. Biogas production from catch crops: Increased yield by combined harvest of catch crops and straw and preservation by ensiling. *Biomass and Bioenergy* 79, 3-11.

Solati, Z., Jørgensen, U., Eriksen, J. and Sørengaard, K. 2017A. Dry matter yield, chemical composition and estimated extractable protein of legume and grass species during the spring growth. *Journal of the science of food and agriculture* 97(12), 3958-3966.

Solati, Z., Jørgensen, U., Eriksen, J. and Sørengaard, K. 2017B. Estimation of extractable protein in botanical fractions of legume and grass species. *Grass and Forage Science*.

Solati, Z. 2017C. PhD dissertation. Production of protein in grassland species and innovative cropping systems: Quantity and quality for extraction. Aarhus University.