

KAN REDUKTIONSMÅLSÆTNINGER FOR NITRAT- UDVASKNING TIL LIMFJORDEN OPFYLDES VED ØGET DYRKNING AF BIOMASSE?

CHRISTEN DUUS BØRGESEN, TOMMY DALGAARD, BIRGER FAURHOLT PEDERSEN, TROELS KRISTENSEN, BRIAN H. JACOBSEN, JØRGEN DEJGÅRD JENSEN, MORTEN GYLLING OG UFFE JØRGENSEN

DCA RAPPORT NR. 131 · NOVEMBER 2018



AARHUS
UNIVERSITET

DCA - NATIONALT CENTER FOR FØDEVARER OG JORDBRUG



KAN REDUKTIONSMÅLSÆTNINGER FOR NITRAT- UDVASKNING TIL LIMFJORDEN OPFYLDES VED ØGET DYRKNING AF BIOMASSE?

DCA RAPPORT NR. 131 · NOVEMBER 2018



Christen Duus Børgesen¹⁾, Tommy Dalgaard¹⁾, Birger Faurholt Pedersen¹⁾, Troels Kristensen¹⁾,
Brian H. Jacobsen²⁾, Jørgen Dejgård Jensen²⁾, Morten Gylling²⁾ og Uffe Jørgensen¹⁾

Aarhus Universitet
Institut for Agroøkologi v. Aarhus Universitet¹⁾
Blichers Allé 20
Postboks 50
8830 Tjele

Københavns Universitet
Institut for Fødevarer- og Ressourceøkonomi²⁾

KAN REDUKTIONSMÅLSÆTNINGER FOR NITRAT- UDVASKNING TIL LIMFJORDEN OPFYLDES VED ØGET DYRKNING AF BIOMASSE?

Serietitel: DCA rapport

Nr.: 131

Forfattere: Christen Duus Børgensen, Tommy Dalgaard, Birger Faurholt Pedersen, Troels Kristensen, Brian H. Jacobsen, Jørgen Dejgård Jensen, Morten Gylling og Uffe Jørgensen

Udgiver: DCA - Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, Blichers Allé 20, postboks 50, 8830 Tjele. Tlf. 8715 1248, e-mail: dca@au.dk, hjemmeside: www.dca.au.dk

Rekvirent: Miljøstyrelsen, Miljø- og Fødevarerministeriet

Fagfællebedømt: Line Block Hansen, Institut for Miljøvidenskab, Aarhus Universitet og Hans Estrup, Institut for Bioscience, Aarhus Universitet

Fotograf: Forsidefoto: Colourbox

Tryk: www.digisource.dk

Udgivelsesår: 2018

Gengivelse er tilladt med kildeangivelse

ISBN: Trykt version 978-87-93643-95-6, elektronisk version 978-87-93643-96-3

ISSN: 2245-1684

Rapporterne kan hentes gratis på www.dca.au.dk

Rapport

Rapporterne indeholder hovedsageligt afrapportering fra forskningsprojekter, oversigtsrapporter over faglige emner, vidensynteser, rapporter og redegørelser til myndigheder, tekniske afprøvninger, vejledninger osv.

Forord

Ifølge vandplanerne skal der frem til 2027 ske en meget betydelig reduktion i udledningerne af kvælstof til Limfjorden. Umiddelbart er det ikke muligt at nå reduktionsmålene med kendte virkemidler som fx vådområder og efterafgrøder, og der er risiko for at det kan blive nødvendigt at braklægge dyrkningsarealer.

Forsøg på AU Foulum viser imidlertid, at dyrkningen af flerårige afgrøder sammenlignet med etårige afgrøder kan give en betydelig reduktion i kvælstoftabet fra dyrkningsfladen; også i situationer, hvor afgrøderne gødes optimalt. Gennem ændringer i afgrødevalget er det således muligt at øge produktionen af biomasse og samtidig reducere kvælstoftabet.

Forudsætningen for en omlægning fra dyrkning af enårige til flerårige afgrøder er dog, at der kan sikres en stabil og rentabel afsætning af biomassen, og at man kender de forventede effekter på bl.a. miljø og klima samt økonomi og beskæftigelse.

For at få belyst dette har Miljø- og Fødevareministeriet bedt forskere fra Aarhus og Københavns universiteter om at undersøge potentialer ved øget biomasseproduktion i dele af Limfjordsoplandet, nærmere betegnet i vandoplandene til Hjarbæk Fjord, Lovns Bredning og Skive Fjord. Undersøgelsen er blevet koordineret af seniorforsker Uffe Jørgensen og resultaterne fremlægges i nærværende rapport.

Rapportens forfattere er i forbindelse med undersøgelserne blevet rådgivet af en bredt sammensat følgegruppe, som bl.a. har omfattet repræsentanter fra lokale og nationale landbrugsorganisationer, følgevirksomheder, kommuner, region og naturinteresser.

Herudover er landmænd i de berørte området og andre interesserede blevet inviteret til et demonstrations- og erfaringsudvekslingsarrangement på AU Foulum. Ved besøget var der bl.a. mulighed for at se forsøg med dyrkning og bioraffinering af grøn biomasse.

Både følgegruppemedlemmer og de involverede landmænd takkes for deres store interesse og opbakning til arbejdet.

Rapporten er udarbejdet på foranledning af Miljøstyrelsen, som en del af "Aftale mellem Aarhus Universitet og Miljø- og Fødevareministeriet om udførelse af forskningsbaseret myndighedsbetjening m.v. ved Aarhus Universitet, DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, 2018-2021."

Niels Halberg,

Direktør, DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug november 2018

Indholdsfortegnelse

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | Sammendrag..... | 7 |
| 1.1 | Fire scenarier..... | 7 |
| 1.2 | Effekt på beskæftigelse, miljø og klima..... | 9 |
| 1.3 | Inddragelse af efterafgrøder dyrket efter 2011..... | 9 |
| 1.4 | Perspektiver..... | 10 |
| 2 | Indledning..... | 11 |
| 3 | Indsatsbehov i oplandet - fjordenes krav og variation i retention..... | 13 |
| 4 | Opsætning af scenarier for omlægning til biomasseproduktion i oplandet..... | 15 |
| 5 | Datagrundlag for og metode til beregninger af markspecifikke nitratudvaskninger..... | 16 |
| 5.1 | Datagrundlag for marker i kystvandoplandene nr. 157 og 158..... | 16 |
| 5.2 | Metode til udvaskningsberegninger for kystvandoplandene 157 og 158..... | 24 |
| 6 | Behovet for arealændringer for at opfylde målsætningerne i fjordene efter 2021..... | 30 |
| 6.1 | Opsætning af scenarier til opnåelse af reduktionsmål..... | 30 |
| 6.2 | Resultat af scenarieberegninger..... | 31 |
| 7 | Overordnede økonomiske analyser af omlægning til græs til bioraffinering eller til energipil..... | 38 |
| 7.1 | Metoder, datagrundlag og beregningsforudsætninger..... | 38 |
| 7.1.1 | Bioraffinering af græs til protein (scenario 2 og 3)..... | 38 |
| 7.1.2 | Raffinering af pileflis til flydende motorbrændstof (scenario 4)..... | 43 |
| 7.1.3 | Forudsætninger vedrørende dyrkningsøkonomi i biomasseafgrøder..... | 43 |
| 7.1.4 | Raffinering af økologisk kløvergræs til økologisk protein..... | 45 |
| 7.1.5 | Dyrkningsøkonomiske konsekvenser af at øge biomasseproduktion..... | 46 |
| 7.1.6 | Vurdering af økonomiske og beskæftigelsesmæssige konsekvenser i følgeerhverv..... | 49 |
| 7.2 | Resultater af de økonomiske analyser..... | 50 |
| 7.2.1 | Økonomiske konsekvenser på forskellige bedriftstyper..... | 51 |
| 7.2.2 | Afledte effekter på andre erhverv..... | 52 |
| 7.2.3 | Følsomhedsvurderinger..... | 53 |
| 8 | Omkostninger ved at opfylde målsætningerne i fjordene baseret på afgrødekalkuler..... | 55 |

| | | |
|------|--|----|
| 9 | Effekter af ændringer i afgrødesammensætning på kvægfodring | 63 |
| 9.1 | Fiberpulp som erstatning for majsensilage..... | 63 |
| 9.2 | Grønt protein som erstatning for soja/rapskage..... | 66 |
| 9.3 | Ændringer i areal og miljø..... | 66 |
| 10 | Sideeffekter på fosfortab, drivhusgasudledning, pesticidforbrug og biodiversitet | 68 |
| 10.1 | Fosfortab | 68 |
| 10.2 | Drivhusgasudledning | 68 |
| 10.3 | Pesticidforbrug..... | 69 |
| 10.4 | Biodiversitet..... | 69 |
| 11 | Samlet diskussion af resultater..... | 70 |
| 12 | Usikkerheder og behov for opfølgning | 73 |
| 13 | Referencer..... | 74 |
| 14 | Appendiks 1. Beregningsforudsætninger for den økonomiske analyse | 78 |
| 15 | Appendiks 2. Projektets følgegruppe..... | 79 |

1 Sammendrag

Dyrkning af flerårige biomasseafgrøder (fx græs eller pil) til bioraffinering kan, i forhold til enårige afgrøder som majs og korn, reducere nitratudledningen og dermed bidrage til at løse vandmiljøudfordringen. De flerårige afgrøder har samtidig positive effekter på klima, biodiversitet og andre miljøudfordringer.

I dele af oplandet til Limfjorden skal der - for at opfylde vandområdeplanerne - ske en betydelig reduktion i nitratudledningen. Kollektive virkemidler såsom vådområder og minivådområder har i store dele af dette opland kun et lavt potentiale pga. lav dræningsgrad. De traditionelle virkemidler på dyrkningsfladen - fx efterafgrøder og reduktion af kvælstofgødskningen - vil i mange tilfælde ikke være tilstrækkelige til at nå reduktionsmålene, og kan være meget omkostningstunge. I den situation repræsenterer dyrkning af flerårige afgrøder i kombination med bioraffinering en mulighed for både at nå reduktionsmålene og opretholde en økonomisk bæredygtig landbrugs- og fødevareproduktion.

Denne analyse koncentrerer sig om oplandet til Skive Fjord, Lovns Bredning, Bjørnsholm Bugt, Riisgårde Bredning og Hjarbæk Fjord. Miljø og Fødevareministeriet har beregnet et årligt indsatsbehov på 1505 tons kvælstof (N) i mindre tab til disse fjorde og kystvande i Vandområdeplanen 2015-2021. Effekten af den allerede vedtagne indsats i 2015-2021 forventes at være 529 tons N/år, således at den manglende indsats (som er udskudt til perioden efter 2021) udgør 977 tons N/år.

1.1 Fire scenarier

For at få et overblik over mulighederne for at opnå den yderligere reduktion på 977 tons N/år til disse oplande, er der i dette notat opsat og analyseret fire scenarier for mulig fremtidig arealanvendelse for et areal i Limfjordsoplandet på ca. 169.000 ha. De fire scenarier er:

1. Uændret Scenario (høj andel af enårige afgrøder - korn og majs)
2. Biomasseoptimeret Scenario (omlægning til højtgødnet ren græs)
3. Økologisk Scenario (omlægning til lavtgødnet kløvergræs)
4. Bioenergiscenario (omlægning til energipil)

Græsset er tænkt anvendt til bioraffinering til proteinfoder, fiberpulp og en saft til biogas, mens energipil forventes afsat til kraftvarmeanlæg.

For hele oplandet kendes den nuværende arealanvendelse, husdyrhold og gødningsforbrug. Dette er koblet med jordbundsdata og klimaforhold, således at nitratudvaskningen fra enkeltmarker kan beregnes. For hvert scenario er beregnet, hvor store arealer der skal omlægges fra nuværende afgrøder til et af de tre alternativer for at opnå reduktionen i fjorden. Udvælgelsen af arealer er foretaget ved at vælge de enkeltmarker, som giver størst reduktion i vandmiljøet, først. Beregningen er gennemført enten ved

at tage hensyn til den lokale N-retention (beregnet på ID15-niveau¹) og dermed kystbelastningen i oplandet ved udvælgelsen af arealer til omlægning, eller ved alene at vælge efter den største reduktion i nitratudvaskningen fra rodzonen af afgrøderne. Denne udvælgelsesprocedure er formodentlig mere optimal, end hvad der kan gennemføres i praksis. Bedriftstyper og landmænd er bundet af en række andre hensyn (økonomi, foderproduktion, stald- og lageranlæg) og vil ikke uden videre omlægge deres nuværende produktion af korn/grovfoder til grøn biomasse, som antaget i modelberegningerne. Således må estimaterne betragtes som minimumsestimater for omlægningen. I praksis vil en omlægning til lokal grøn bioraffinering kræve en længere proces, der også kan indebære omlægning eller flytning af husdyrproduktion. Eller der skal omlægges større arealer, end her beregnet, med mindre reduktionspotentiale per ha.

Resultaterne af analyserne viser, at der skal omlægges mellem 16 og 28% af landbrugsarealet i oplandet, svarende til mellem 25.000 og 47.000 ha for at opnå den udskudte reduktion i fjorden. Størst omlægning vil kræves i det Biomasseoptimerede Scenario, mens mindst omlægning kræves for Bioenergiscenariet. Ved at tage hensyn til retentionen i oplandet kræves 4-9 %-point mindre arealomlægning, end hvis der alene udvælges efter den største udvaskning fra rodzonen. Majs er den afgrøde, hvoraf den største procentvise andel omlægges i scenarierne, fordi det er her den største reduktion i nitratudvaskning opnås. Herefter sker de næststørste omlægninger i vårbyg og i anden vårsæd.

I forhold til anvendelse af græs fibre til kvægfodring, vil en ændring af fodring til malkekøer, hvor majsensilage erstattes af fiberpulp betyde, at der kan afsættes græs fiberpulp fra et areal på ca. 19.000 ha. Det er således kun omkring halvdelen af det græsareal, der kræves etableret i biomassescenariet ved 100% målopfyldelse, og resten af fibrene må enten eksporteres ud af oplandet eller benyttes til fx biogas.

De økonomiske analyser af de tre omlægningsscenarier i forhold til det Uændrede Scenario viser, at der kan forventes en driftsøkonomisk omkostning ved omlægning til det Biomasseoptimerede Scenario og til Bioenergiscenariet, mens der kan være en fortjeneste ved at omlægge til Økologisk Scenario. Denne er dog formentlig den mest komplicerede omlægning, da der på langt de fleste marker vil være tale om omlægning fra konventionel til økologisk produktion, og de udvalgte arealer (med størst vandmiljøeffekt) kan være fordelt ujævnt over bedrifter. Den forventede fortjeneste ved det Økologiske Scenario er baseret på et salg af proteinkoncentrat fra bioraffinering af kløvergræsset, som erstatter økologisk soja med en betydeligt højere pris end konventionel soja, som vil erstattes ved omlægning i det Biomasseoptimerede Scenario.

Mere detaljerede økonomiske analyser på forskellige jordtyper og bedriftstyper viste en betydelig variation mellem kategorierne. Det betød, at også for konventionel græsproduktion og for produktion af

¹ Danmark er inddelt i ca. 3.100 oplande kaldet ID15-oplande med en gennemsnitlig størrelse omkring 1.500 hektar

energipil var der positiv driftsøkonomi på en del af de analyserede marker. Og på en endnu større andel af markerne lå omkostningerne ved omlægning til biomasseproduktion under eller på niveau med omkostninger til øvrige kendte N-virkemidler (i gennemsnit ca. 40 kr pr. kg N reduceret i havmiljøet). Det vil sige, at produktion af biomasse til energiproduktion eller til yderligere bioraffinering til foderprodukter m.m. formentlig vil kunne være ganske konkurrencedygtigt i oplandet til Limfjorden. Men for at nå den fulde målsætning i fjorden kan det blive nødvendigt at sammensætte en palette af produktionstyper tilpasset bedriftsstrukturen i landbruget samt til behovet for biomasse til energiproduktion m.m.

Det skal understreges, at de økonomiske beregninger er baseret på erfaringer fra pilotanlæg til raffinering af græs samt forventede priser og udbytter ved opskalering af teknologien, og således endnu er usikre.

1.2 Effekt på beskæftigelse, miljø og klima

Et grønt bioraffinaderi forventes at aftage græs fra ca. 2.500 ha og give en nettobeskæftigelseeffekt på ca. tre fuldtidsstillinger. Det betyder, at der skal etableres 10-20 bioraffinaderier i det analyserede opland for at omsætte merproduktionen af græs – afhængigt af hvilket scenario, der vælges implementeret. Der kan således forventes en samlet merbeskæftigelse på 30-60 fuldtidsstillinger. Der vil, ved fuld implementering af de græs- og kløvergræsbaseerede scenarier, blive produceret store mængder græs-fiberpulp, som bør sikres en forholdsvis lokal afsætning. De første forsøg med græs fibre har vist, at det kan være et godt kvægfoder, som kan erstatte nuværende græs- og majsensilage uden større problemer. Men de store mængder pulp produceret ved fuldt implementerede scenarier vil betyde, at noget enten skal eksporteres ud af oplandet eller kan anvendes til biogas.

Omlægning fra enårige afgrøder til flerårige biomasseafgrøder vurderes også at have positive effekter på klima og andre miljøparametre end nitratudvaskning. Der kan således forventes en årlig reduktion på mellem 0,5 og 3,5 ton CO₂-ækvivalenter/ha som funktion af ændret lattergasemission og lagring af kulstof i jord. Flerårige afgrøder er et effektivt redskab til at reducere P-tab ved overfladeafstrømning på erosionstruede arealer. Pesticidforbruget i græsmarker er normalt mere end 40 gange lavere end i gennemsnit i konventionel planteproduktion. Her må dog være fokus på, om de længere rotationer af græs, som ønskes for at minimere nitratudvaskningen, kan risikere at give øgede problemer med ukrudt og dermed enten lavere udbytter end antaget eller øget behov for sprøjtning.

1.3 Inddragelse af efterafgrøder dyrket efter 2011

I de detaljerede analyser er der taget udgangspunkt i arealanvendelsen og efterafgrøder for høståret 2011. De seneste års "MFO-efterafgrøder", de "målrettede efterafgrøder til beskyttelse af grundvandet" og "husdyrefterafgrøder", er ikke allokert til bedriftsniveau som de pligtige efterafgrøder for 2011. Disse nye efterafgrøder har det ikke været muligt at knytte til 2011 – bedrifterne pga. både ændrede sædskif-

ter, bedriftsstrukturen, samt regler for persondata. Således er der sket en jævn fordeling af de "nye efterafgrøder" på markerne, hvor der kan etableres efterafgrøder inden for alle ID15-oplande. Ligeledes kender vi af gode grunde heller ikke placeringen af efterafgrøderne i den kommende målrettede regulering frem mod 2021. Det kan derfor blive en krævende opgave at undgå overlap mellem virkemidler ved implementering, hvilket kan betyde at ovenstående analyser underestimerer det reelle behov for omlægning. Vi har derfor også analyseret muligheden for at nå en større målsætning på 1.316 tons N, hvilket inkluderer den forventede effekt fra MFO og målrettet regulering frem mod 2021, og således illustrerer, hvor meget der måske skal omlægges, for at inkludere risikoen for overlap mellem virkemidler. Det vil kræve yderligere 7-10%-point arealomlægning at nå dette højere mål (kun analyseret for Økologisk Scenario).

1.4 Perspektiver

Samlet set viser analyserne, at det vil være teknisk muligt at opnå den fulde vandmiljømålsætning for arealrelaterede virkemidler i 2021 alene med omlægning til biomasseproduktion på 25 - 35 % af landbrugsarealet i oplandet til fjordene. Hvis dette potentiale skal indfries, er der behov for en fortsat teknisk udvikling af konceptet for grøn bioraffinering, for at arbejde med virksomhedsmodeller og logistik for de nye anlæg, samt for bedre viden om lokalisering af de eksisterende virkemidler til N-reduktion. Der bør tillige opnås et bedre kendskab til den praktiske implementering på den enkelte bedrift, hvilket vil blive helt afgørende, for at effekterne i fjorden kan beregnes mere præcist og vil påvirke de økonomiske omkostninger og det nødvendige areal, der skal omlægges.

2 Indledning

Reguleringen af landbruget i kombination med den teknologiske udvikling har siden 1980'erne mere end halveret nitratudvaskningen fra dansk landbrug uden at den samlede landbrugsproduktion er blevet reduceret (Dalgaard et al., 2014). Det er dog sket ved høst af de lavest hængende frugter såsom bedre udnyttelse af husdyrgødning, forbud mod udbringning af husdyrgødning i efteråret og vinteren og udbredt anvendelse af efterafgrøder.

Det europæiske Vandrammedirektiv, som skal sikre god økologisk tilstand i de danske kystvande, stiller imidlertid krav om betydelig yderligere reduktion. I oplande med højt indsatsbehov kan konsekvenserne således blive braklægning af store arealer (Ørum et al., 2017), hvis ikke der findes løsninger, som både kan sikre en lav nitratudvaskning og samtidig kan fastholde en økonomisk bæredygtig landbrugsproduktion.

Dele af oplandet til Limfjorden er blandt de oplande, hvor der skal ske en stor reduktion i nitratudledningen for at opfylde Vandområdeplanerne (Miljø- og Fødevareministeriet, 2016). De kollektive virkemidler udenfor dyrkningsfladen, såsom vådområder og minivådområder, har i store dele af dette opland kun et lille potentiale pga. lav dræningsgrad (SEGES, 2017a,b). Det vil derfor være tiltag på dyrkningsfladen, som må tages i brug i disse områder, og det vil kræve omfattende brug af virkemidler såsom efterafgrøder, mellemafgrøder, randzoner, braklægning eller reduktion af kvælstofgødskningen (SEGES, 2017a,b).

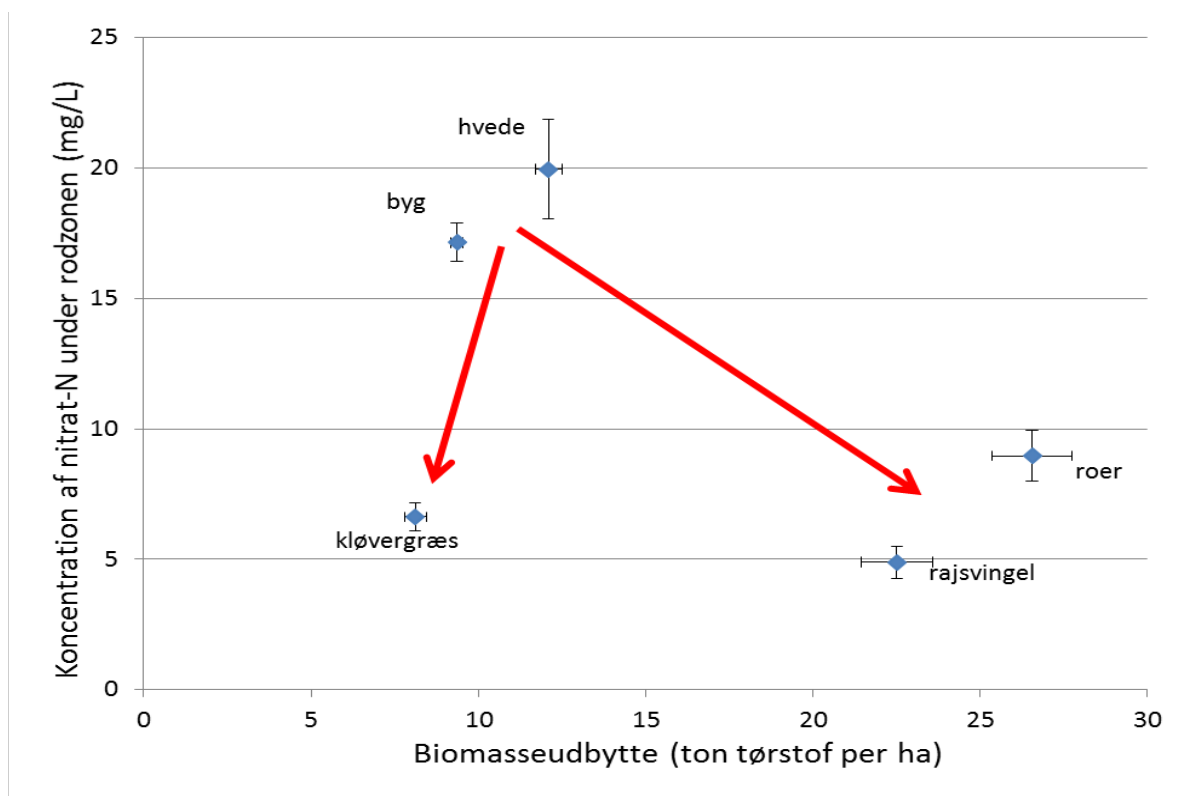
Der har i en årrække været gennemført analyser, som har påvist, at produktion af flerårige biomasseafgrøder til bioraffinering kan have et betydeligt potentiale til at løse vandmiljøudfordringen, samtidigt med at der kan opnås positive effekter på klima, biodiversitet og andre miljøudfordringer (Gylling et al., 2013, 2016; Jørgensen et al., 2013; Larsen et al., 2017).

Herudover er der en række andre samfundsmæssigt positive effekter ved produktion af biomasse til bioraffinering. Gylling et al. (2016) beregnede, at hvis scenarierne i "+10 millioner tons analysen" blev gennemført, vil den medfølgende bioraffineringssektor på landsplan kunne bidrage med en produktion til en samlet årlig værdi på 14-26 mia. kroner (afhængigt af, hvilket scenario der var tale om) og generere 12-20.000 nye job, hvoraf mange vil ligge i landområderne. Hvorvidt denne bioraffineringssektor vil være driftsøkonomisk konkurrencedygtig på det frie marked var dog et åbent spørgsmål, ligesom værdifastsættelse og markedsføring af de medfølgende miljøeffekter står til diskussion (Cong & Termansen, 2016).

På det seneste har der været en betydelig forskningsindsats omkring mulighederne for at producere proteinrige græsafgrøder til bioraffinering, hvorved der kan produceres proteinfoder til enmavede dyr og fiberfoder til kvæg med biogas som et sideprodukt (Hermansen et al., 2017; Jørgensen & Lærke,

2016; Parajuli et al., 2015; 2018). Et andet aspekt ved omlægning til græs er, at græsser som følge af en lang vækstperiode (Manevski et al., 2017), kan producere mere biomasse samtidigt med, at der er en lav nitratudvaskning (Figur 2.1). Derved kan græsproduktion bidrage til at fastholde en stor og bæredygtig landbrugsproduktion, der kan levere både fødevarer, bioenergi og materialer (Larsen et al., 2017).

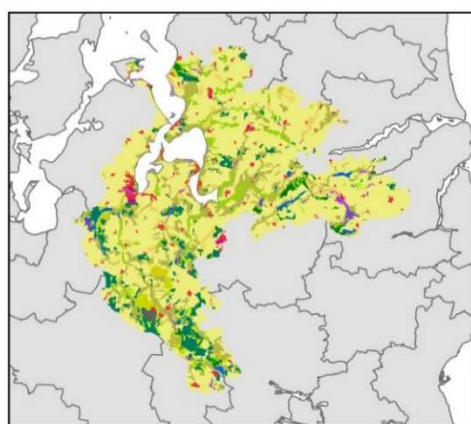
Danske landmænd er gode til at dyrke og håndtere græs, og dyrkningen er således ikke en stor barriere for en omlægning af produktionskæden. Det vil dog bl.a. kræve, at græsset dyrkes i en mere permanent kultur end i dag, hvor meget græs indgår i et sædskifte og ompløjes efter 2-3 års produktion, hvorefter det følges af enårig afgrøder. Benyttes hyppig ompløjning, opnås ikke nødvendigvis en positiv effekt på vandmiljøet, idet udvaskningen vil være øget i de efterfølgende afgrøder efter ompløjningen (Olesen et al., 2013). I forhold til den traditionelle driftsform i dansk planteavl med en høj andel (ca. 80%) af enårig afgrøder er det interessante ved ændringen til flerårigt græs, at der udover samme lave nitratudvaskning, som fra andre flerårige biomasseafgrøder, kan opnås lokalt anvendelige produkter af høj værdi, som kan produceres i decentrale anlæg med forholdsvis simpel teknologi (Hermansen et al., 2017).



Figur 2.1. Gennemsnitlige nitratkoncentrationer i jordvand ekstraheret under rodzonen i efteråret og vinteren efter produktionsåret 2013 versus tørstofudbyttet i vinterhvede, vårbyg, rajsvingel, roer og kløvergræs (ingen N-gødsning). Mulige udviklingsveje til reduktion af nitratudvaskningen fra de nuværende kornbaserede produktionssystemer er angivet med pile (Fra Jørgensen & Lærke, 2016).

3 Indsatsbehov i oplandet - fjordenes krav og variation i retention

Denne analyse koncentrerer sig om oplandet til Skive Fjord, Lovns Bredning, Bjørnsholm Bugt, Riisgårde Bredning og Hjarbæk Fjord (kystvandopland nr. 157 og 158, Figur 3.1). Miljø og Fødevareministeriet (2016) angiver et årligt indsatsbehov på 1.505 tons kvælstof (N) mindre tab til disse fjorde og kystvande i Vandområdeplanen 2015-2021. Effekten af den allerede vedtagne indsats i 2015-2021 forventes at være 529 tons N/år, således at den manglende indsats (som er udskudt til perioden efter 2021) udgør 977 tons N/år. En del af den allerede vedtagne indsats består af kollektive virkemidler (Miljø- og Fødevareministeriet, 2016), som suppleres med den netop vedtagne målrettede regulering (Miljø- og Fødevareministeriet, 2018).



CORINE

CORINE

Kunstige overflader

- Tæt bebyggelse
- Åben bebyggelse
- Industri og handel
- Havneområder
- Lufthavne
- Råstofgrave
- Større anlægsområder
- Byparker
- Sports- og fritidsanlæg

Landbrugsområder

- Dyrket, ikke kunstvandet
- Græsmarker
- Komplekst dyrkningsmønster
- Blandet landbrug/natur

Skov og semi-naturlige arealer

- Løvskov
- Nåleskov
- Blandet skov
- Naturlige græsarealer
- Hede
- Blandet krat/skov

Vådområder

- Fersk sump
- Mose og kær
- Strandeng og -sump

Vandområder

- Søer
- Åbent vand

Figur 3.1 Kort over arealanvendelse i de kystvandoplande, hvor scenarieanalyserne er gennemført (vandopland nr. 157 og 158).

GEUS har sammen med Aarhus Universitet (DCA og DCE) udviklet en landsdækkende analyse og kortlægning af vandtransporten fra mark via grundvand og/eller dræn til overfladevand (Højbjerg et al., 2015). Denne analyse angiver retentionen per ID15-opland over hele landet. Retention skal forstås som den andel af nitrat tabt fra afgrødernes rodzone, som vil blive reduceret til luftformige N-forbindelser eller rent atmosfærisk kvælstof under transporten gennem dræn, dybere jordlag, grundvandsmagasin, vandløb og søer inden vandet når fjorden. Det vil sige, at i områder med høj retention vil en indsats til reduktion af tabet fra afgrøder på marken have mindre effekt i fjordene end en indsats i områder med lav retention vil have. Dette giver mulighed for en målrettet indsats af virkemidler, som i flere studier har vist at være langt mere effektiv end en generel indsats uden inddragelse af effekten af forskelle i retention (Beck et al., 2017; Hashemi et al., 2018; Hasler et al., 2015).

4 Opsætning af scenarier for omlægning til biomasseproduktion i oplandet

Fire forskellige scenarier blev defineret i samarbejde med en følgegruppe (se Appendiks 2) med repræsentanter for landbrug, industri, miljøorganisationer og offentlige styrelser. Scenario 1 er et referencescenario, hvor der ikke antages yderligere N-regulering i forhold til dyrkningsåret 2016. I de øvrige scenarier (2-4) antages omlægning af nuværende afgrøder i et omfang, som samlet vil opfylde målsætningen i de analyserede fjorde. Dog har vi valgt at friholde specialafgrøder såsom kartofler og frøgræs fra omlægning, da det er afgrøder med begrænsede arealer og meget høje afkast, som det næppe vil være rentabelt at omlægge. Det er således vinter- og vårkorn, majs, raps og sædskiftegræs, der i analysen antages at kunne omlægges. For hvert scenario er gennemført en beregning med og uden hensyntagen til retentionen i de enkelte ID15-oplande.

- 1. Uændret Scenario**
 - Nu-situation – uden yderligere regulering
- 2. Biomasseoptimeret Scenario**
 - Intensivt slætgræs - bioraffinering til protein- og kvægfoder samt biogas
- 3. Økologisk Scenario**
 - Lavtgødet kløvergræs - bioraffinering til protein- og kvægfoder samt biogas
- 4. Bioenergiscenario**
 - Energipil - decentral kraftvarme eller bioolieproduktion

I det Biomasseoptimerede Scenario 2 antages omlægning af nuværende afgrøder til intensivt slætgræs (rent græs) gødet til N-normen for "græs til fabrik" (344-450 kg N/ha afhængigt af jordtype og vanding, Landbrugs- og Fiskeristyrelsen (2017)). I Scenario 3 omlægges til økologisk kløvergræs, der gødes med den eksisterende mængde husdyrgødning. Græsmarkerne i scenarierne 2 og 3 antages at ligge i 4 år, hvorefter de omlægges med udlæg i vårsæd, således at der etableres græs igen. I Scenario 4 etableres energipil, der antages gødet med den eksisterende husdyrgødning og suppleres med handelsgødning til N-normen for energipil på 120 kg N/ha² (Landbrugs- og Fiskeristyrelsen, 2017).

² Pileavlere gødske dog ofte mindre i dag (Larsen et al., 2015)

5 Datagrundlag for og metode til beregninger af markspecifikke nitratudvaskninger

5.1 Datagrundlag for marker i kystvandoplandene nr. 157 og 158

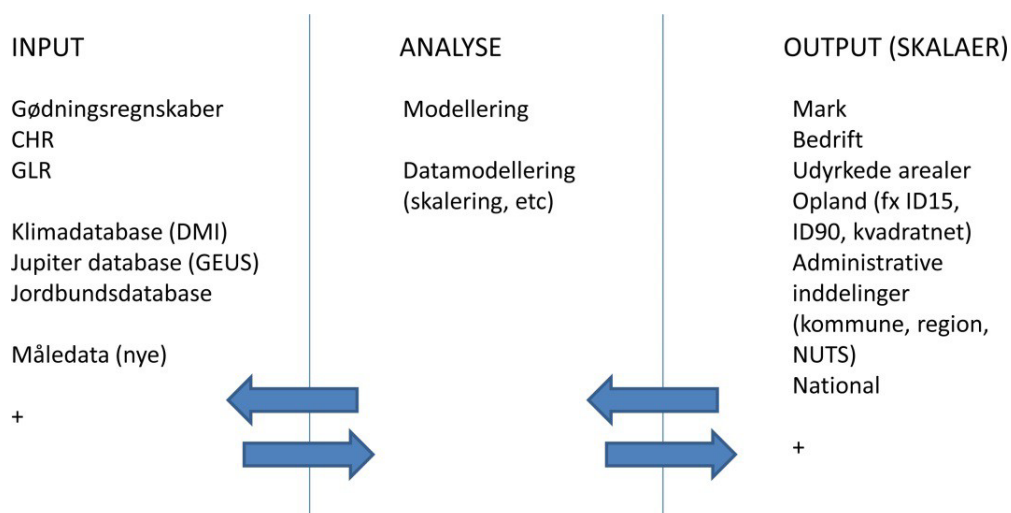
Analysen er gennemført med specifikke data for enkelte bedrifter og marker fra landsdækkende landbrugsdatabaser. De tilgængelige data er illustreret i tabel 5.1.

Data markeret med grønt i tabellen kombineres med markblokpolygonerne i en GIS-analyse inden indlæsning i AU's database, og aggregeres herefter til højere niveau (ID15, kommune, opland og region mv.). Ud fra input data beregnes/defineres yderligere en række afledte data, som fx bedriftstyper.

Tabel 5.1. Oversigt over data bag analysen på kystvandoplandene nr. 157 og 158.

| | Mark | Markblok | Bedrift |
|-----------------------------------|--|--|--|
| Støtteansøgning (GLR) | marknummer, afgrødetype, areal, forfrugt | bloknummer, blokareal | Adresse, dyrket areal, harmoniareal, økologiareal, oplysning om vanding |
| GIS lag | Markpolygoner | blokpolygoner | |
| Gødningsregnskab | | | Adresse, dyreenheder (på type), Kg N og Kg P (handel + husdyr + anden organisk husdyrgødning), kvælstofkvote, indkøbt handelsgødning, P/N forhold, efterafgrødeareal |
| Jupiter | | | Oplysning om vanding |
| Danmarks Statistik | | | Udbyttedata |
| Administrative inddelinger | | kommune, region, ID15, kystoplande | |
| Jordbundsdata | | Andelen af jordtypen på markblokniveau | |
| Klima | | DMI grid (10 km) | |

På baggrund af ovenstående inputdata udføres modelberegningerne efter denne model (Figur 5.1):



Figur 5.1. Konceptuel beskrivelse af datahåndtering. Selve modelleringen er empirisk funderet, hvilket betyder at de mest detaljerede data, der er tilgængelige fra databaser og geografisk distribuerede kort (GIS temaer), er kombineret, således at det kan bruges som input til analyser på bedrift og markskala.

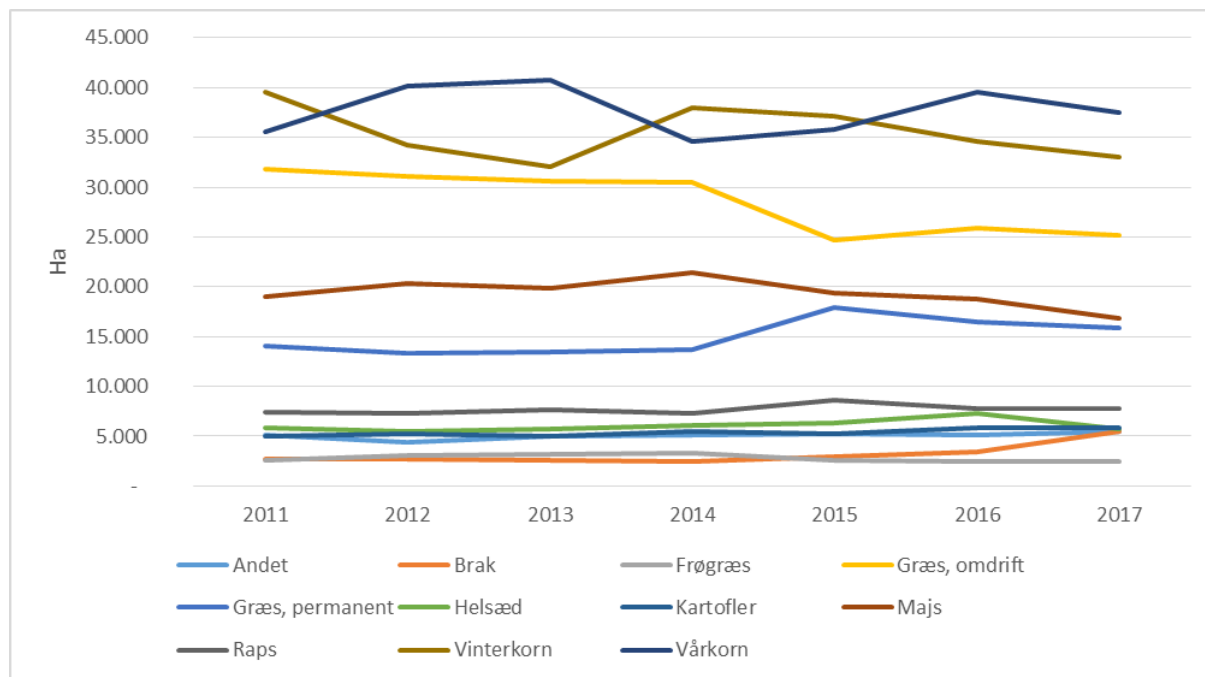
Grunddata fra 2011 er anvendt i kvælstofmodelberegningerne, idet disse er de mest opdaterede landsresultater, der ligger til grund for beregning af nitratudvaskning (Børgesen et al., 2013) og tager udgangspunkt i GIS-analyser på markblokniveau som angivet i tabel 5.1. Data på lands- og regionniveau (Limfjordsoplandene) er analyseret for at kunne vurdere, om grunddata for 2011 kan anvendes til beregninger af kvælstofudvaskningen i 2016.

Den økonomiske analyse (afsnit 7) tager udgangspunkt i de 3.012 ansøgninger om hektarstøtte for 2011, som havde adresse i Limfjordens vandoplande 157 og 158. Bedrifterne har også en hel del marker uden for Limfjordsoplandet bl.a. på Sjælland, Sejerø og nær grænsen mod Tyskland. Tilsvarende findes et lignende antal marker indenfor vandoplandene tilhørende bedrifter på adresser udenfor oplandene, hvor fordelingen på afgrødetyper var nogenlunde ensartet. Til brug for analysen opgøres analyseparametrene på baggrund af data fra de 3.012 ansøgningers adresser. I selve analysen af nitratudvaskning tages udgangspunkt i alle marker i de 150 ID15-oplande i Limfjordsoplandet.

Vi har endvidere analyseret udviklingen i afgrødesammensætning, gødningsforbrug og husdyrhold for perioden 2011-2016 i Limfjordsoplandet. Der er nogle forskelle mellem årene i sammensætningen mellem vinter- og vårkorn primært betinget i vejrforhold omkring såning af vintersæd (Figur 5.2).

Desuden er der sket en ændring i kategorisering af græs i omdrift, som for visse typer i de seneste år er kategoriseret til permanent græs. Hidtil kunne en græsmark nemlig godt være registreret i omdrift mere end 5 år i træk, men skærpe af reglerne gjorde at disse marker efter max 5 år i omdrift skulle omkategoriseres til permanent græs. Dette fik betydning for fordelingen mellem kategorierne brak, frøgræs, permanent græs og græs i omdrift. Det ses bl.a., at brakkategorien stiger lidt til sidst. Men brak og de tre

græskategorier er dog tilsammen nogenlunde konstant i hele perioden. Samlet set udgør græsarealerne ca. 49.000 ha i Limfjordsoplandene gennem hele perioden (Tabel 5.2). Vi vurderer derfor, at afgrødesammensætningen i 2011 repræsenterer et fornuftigt gennemsnit for de seneste år.

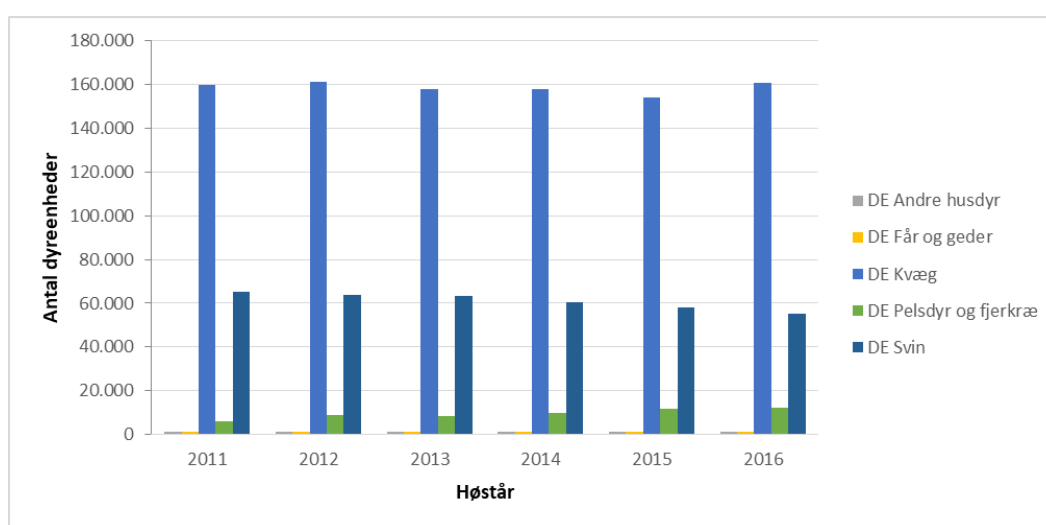


Figur 5.2. Afgrødesammensætningen opgjort for de udvalgte ID15-oplande til Limfjorden.

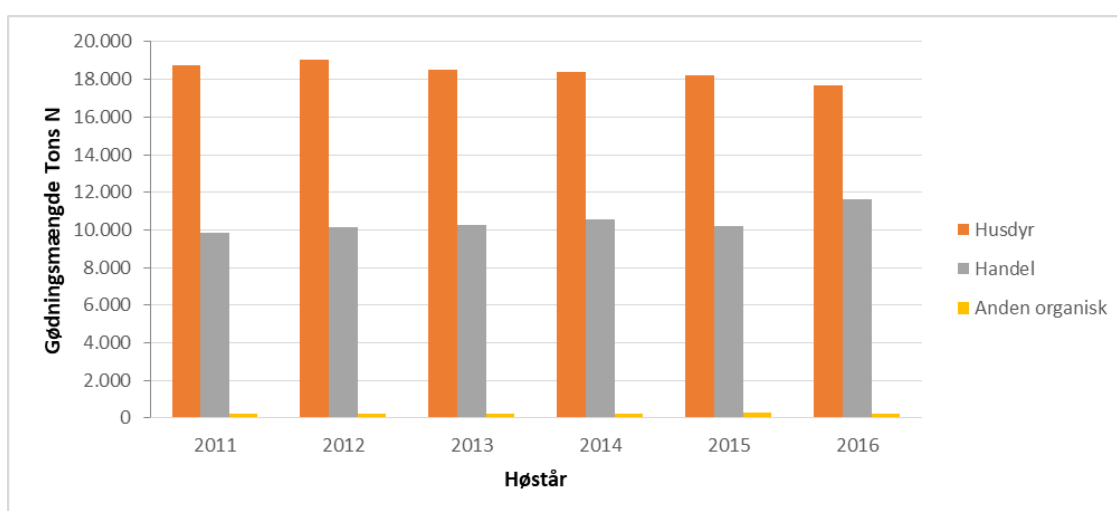
Tabel 5.2. Afgrødesammensætning i de udvalgte 150 ID15-oplande til Limfjorden fra 2011-2016.

| Afgrødefordeling Limfjordsvandoplandene nr. 157 og 158 | 2011 (ha) | 2012 (ha) | 2013 (ha) | 2014 (ha) | 2015 (ha) | 2016 (ha) |
|--|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Andet | 5.095 | 4.420 | 5.023 | 5.122 | 5.189 | 5.076 |
| Brak | 2.739 | 2.667 | 2.530 | 2.431 | 2.988 | 3.469 |
| Frøgræs | 2.638 | 3.038 | 3.151 | 3.254 | 2.637 | 2.413 |
| Græs_omdrift | 31.864 | 31.126 | 30.572 | 30.549 | 24.747 | 25.888 |
| Græs_perma | 14.033 | 13.361 | 13.474 | 13.757 | 17.898 | 16.463 |
| Helsæd | 5.822 | 5.493 | 5.707 | 6.125 | 6.387 | 7.333 |
| Kartofler | 4.992 | 5.248 | 4.999 | 5.427 | 5.278 | 5.868 |
| Majs | 18.970 | 20.289 | 19.901 | 21.441 | 19.368 | 18.768 |
| Raps | 7.408 | 7.300 | 7.634 | 7.284 | 8.562 | 7.742 |
| Vinterkorn | 39.502 | 34.192 | 32.013 | 37.939 | 37.170 | 34.624 |
| Vårkorn | 35.519 | 40.196 | 40.808 | 34.549 | 35.821 | 39.586 |
| I alt | 168.582 | 167.330 | 165.813 | 167.877 | 166.047 | 167.230 |

Husdyrholdet har været nogenlunde konstant over de sidste 6 år, dog med en svagt nedadgående tendens i det totale antal dyreenheder (DE) på knap 4% fra 2011 til 2016 (Figur 5.3). Det ser ud til, at pelsdyr og fjerkræproduktion vinder frem på bekostning af svineproduktion. Langt den største andel af dyreenheder i oplandet er dog fra kvæg (Figur 5.3). De udbragte gødningsmængder ifølge gødningsregnskaberne viser en nogenlunde konstant udbringning (Figur 5.4), idet det svage fald i husdyrgødning som følge af et fald i antallet af DE kompenseres med øget anvendelse af handelsgødning, med en yderligere stigning fra 2016, hvor første trin af Landbrugspakken gav mulighed for øget tildeling af handelsgødning. I modelberegningerne indgår der kun en omlægning af marker indenfor de to kystvandoplande; hvis der således er en bedrift med marker indenfor og udenfor de to oplande, sker der kun omlægning for markerne indenfor de to kystvandoplande.

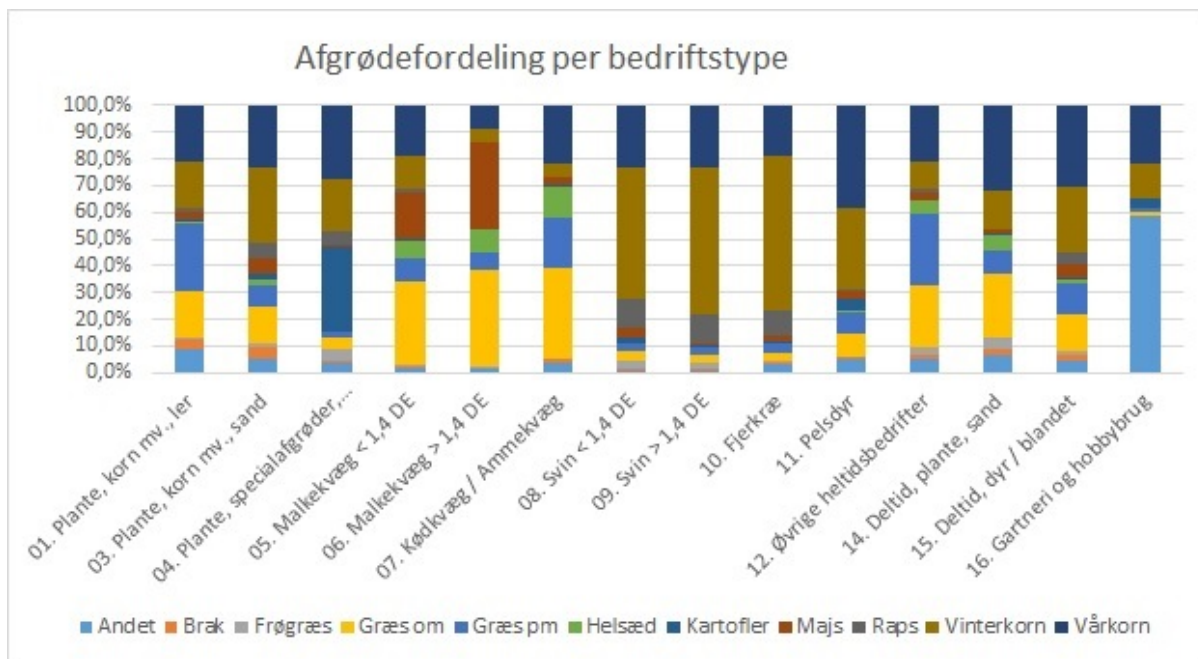


Figur 5.3. Husdyrholdet ifølge gødningsregnskaberne for bedrifter beliggende i Limfjordens kystvandoplande 157 og 158.



Figur 5.4. Gødningsmængderne ifølge gødningsregnskaberne for bedrifter med adresse i Limfjordsoplandene 157 og 158.

Til brug for scenarieanalyser og økonomiberegninger er en række nøgletal beregnet. For det første er afgrødefordelingen opgjort på 16 standard bedriftstyper (Jensen, 2014). På figur 5.5 ses afgrødefordelingen for de 3.012 bedrifter i området fordelt på bedriftstyper.



Figur 5.5. Afgrødefordelingen ifølge ansøgte areal for bedrifter med adresse i Limfjordsoplandene 157 og 158 for 2011.

Som vist på figur 5.4 skete der en stigning i forbruget af handelsgødning fra 2011 til 2016. Nøgletal for forbrugt kg N/ha kan beregnes på baggrund af de ansøgte arealer for de ovennævnte 3.012 bedrifter om grundbetaling for 2011 og tilsvarende ansøgte arealer til de tilsvarende bedrifter i 2016 samt de forbrugte gødningsmængder for de samme bedrifter i 2011 og 2016. Som det fremgår af tabel 5.3, er der sket en stigning fra ca. 60 Kg N/ha i 2011 til ca. 80 Kg N/ha i 2016 for handelsgødning.

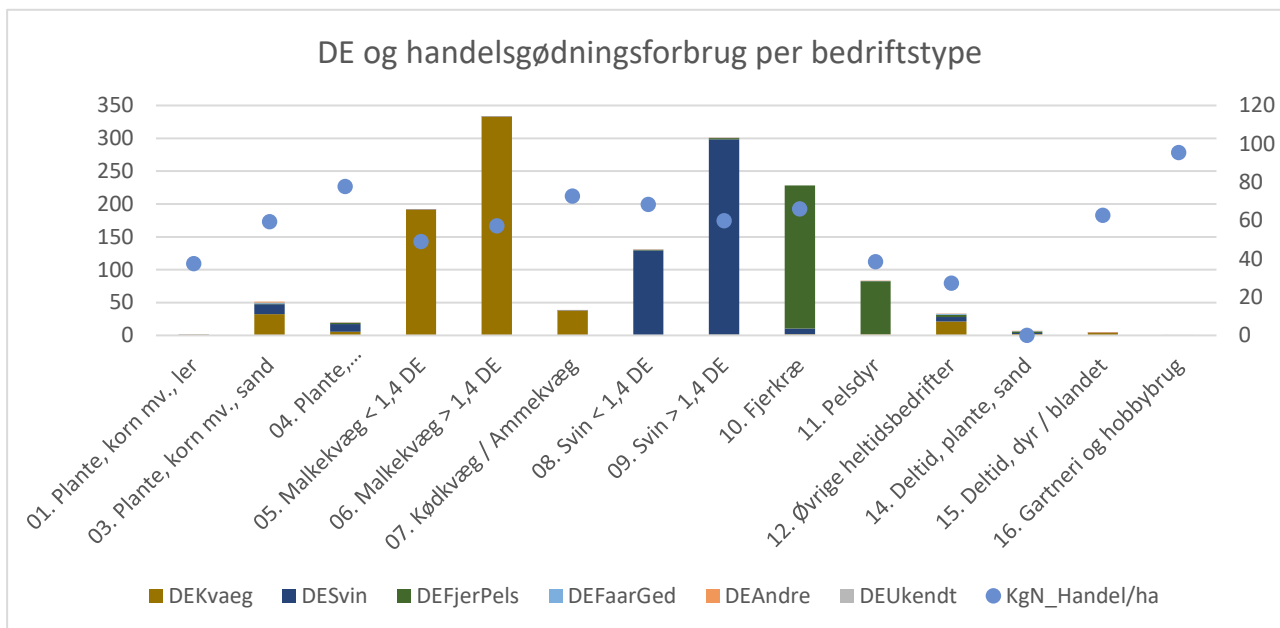
Tabel 5.3. Oversigt over arealer og handelsgødningsforbrug på bedrifter med adresse i Limfjordsoplandene 157 og 158 for 2011 og de tilsvarende bedrifter for 2016. Bemærk: Det er ikke alle bedrifter, der indgiver gødningsregnskaber, hvorfor antallet af bedrifter i gødningsopgørelsen er lavere (kolonnen "Bedrifter2" under "Gødning") end antallet af bedrifter opgjort efter ansøgning om enkeltbetaling (kolonnen "Bedrifter" under "Areal"). Hvis der er kommet nye bedrifter til siden 2011 er disse ikke medtaget i oversigten.

| 2011 | | Areal | | | | Gødning | | |
|-----------------------------------|-----------|--------|----------|------------|---------|------------|---------|-------------|
| Bedriftstyper | Bedrifter | marker | I alt ha | ha/bedrift | ha/mark | Bedrifter2 | HandTN | Hand_KgN/ha |
| 01. Plante, korn mv., ler | 1083 | 5141 | 9390,9 | 8,7 | 1,8 | 477 | 352,3 | 37,5 |
| 03. Plante, korn mv., sand | 308 | 8252 | 33951,9 | 110,2 | 4,1 | 303 | 2215,8 | 65,3 |
| 04. Plante, specialafgrøder, sand | 55 | 1885 | 9575,0 | 174,1 | 5,1 | 55 | 801,5 | 83,7 |
| 05. Malkekvæg < 1,4 DE | 210 | 7643 | 30959,8 | 147,4 | 4,1 | 210 | 1524,0 | 49,2 |
| 06. Malkekvæg > 1,4 DE | 238 | 7132 | 31393,5 | 131,9 | 4,4 | 238 | 1957,9 | 62,4 |
| 07. Kødkvæg / Ammekvæg | 55 | 765 | 1674,1 | 30,4 | 2,2 | 55 | 121,7 | 72,7 |
| 08. Svin < 1,4 DE | 31 | 937 | 5100,7 | 164,5 | 5,4 | 31 | 348,6 | 68,3 |
| 09. Svin > 1,4 DE | 119 | 3680 | 20850,1 | 175,2 | 5,7 | 118 | 1279,2 | 61,4 |
| 10. Fjerkræ | 14 | 313 | 1901,0 | 135,8 | 6,1 | 14 | 146,3 | 77,0 |
| 11. Pelsdyr | 30 | 420 | 1173,4 | 39,1 | 2,8 | 29 | 47,2 | 40,3 |
| 12. Øvrige heltidsbedrifter | 98 | 1346 | 3498,3 | 35,7 | 2,6 | 89 | 95,6 | 27,3 |
| 14. Deltid, plante, sand | 22 | 336 | 849,1 | 38,6 | 2,5 | 16 | | 0,0 |
| 15. Deltid, dyr / blandet | 728 | 7545 | 19962,0 | 27,4 | 2,6 | 686 | 1248,8 | 62,6 |
| 16. Gartneri og hobbybrug | 20 | 585 | 793,2 | 39,7 | 1,4 | 18 | 75,8 | 95,5 |
| I alt | 3012 | 46018 | 171073,0 | 56,8 | 3,7 | 2340 | 10346,6 | 60,4 |

| 2016 | | Areal | | | | Gødning | | |
|-----------------------------------|-----------|--------|----------|------------|---------|------------|---------|-------------|
| Bedriftstyper | Bedrifter | marker | I alt ha | ha/bedrift | ha/mark | Bedrifter2 | HandTN | Hand_KgN/ha |
| 01. Plante, korn mv., ler | 668 | 3734 | 6564,7 | 9,8 | 1,8 | 317 | 415,7 | 63,3 |
| 03. Plante, korn mv., sand | 259 | 7560 | 30088,6 | 116,2 | 4,0 | 249 | 3228,5 | 107,3 |
| 04. Plante, specialafgrøder, sand | 43 | 1590 | 9350,2 | 217,4 | 5,9 | 41 | 962,1 | 102,9 |
| 05. Malkekvæg < 1,4 DE | 194 | 7242 | 30808,5 | 158,8 | 4,3 | 185 | 1623,1 | 52,7 |
| 06. Malkekvæg > 1,4 DE | 204 | 6816 | 33342,1 | 163,4 | 4,9 | 196 | 2561,2 | 76,8 |
| 07. Kødkvæg / Ammekvæg | 50 | 692 | 1595,6 | 31,9 | 2,3 | 48 | 132,1 | 82,8 |
| 08. Svin < 1,4 DE | 23 | 688 | 4066,3 | 176,8 | 5,9 | 23 | 400,7 | 98,5 |
| 09. Svin > 1,4 DE | 98 | 3557 | 20279,4 | 206,9 | 5,7 | 97 | 1798,2 | 88,7 |
| 10. Fjerkræ | 11 | 279 | 1631,4 | 148,3 | 5,8 | 10 | 175,0 | 107,3 |
| 11. Pelsdyr | 27 | 558 | 2160,4 | 80,0 | 3,9 | 26 | 120,8 | 55,9 |
| 12. Øvrige heltidsbedrifter | 85 | 1354 | 3351,7 | 39,4 | 2,5 | 72 | 117,4 | 35,0 |
| 14. Deltid, plante, sand | 18 | 226 | 583,4 | 32,4 | 2,6 | 17 | 6,7 | 11,5 |
| 15. Deltid, dyr / blandet | 574 | 6015 | 16236,1 | 28,3 | 2,7 | 526 | 1265,1 | 77,9 |
| 16. Gartneri og hobbybrug | 17 | 543 | 774,3 | 45,5 | 1,4 | 16 | 132,4 | 171,0 |
| I alt | 2272 | 41056 | 161758,7 | 71,2 | 3,9 | 1824 | 13066,3 | 80,8 |

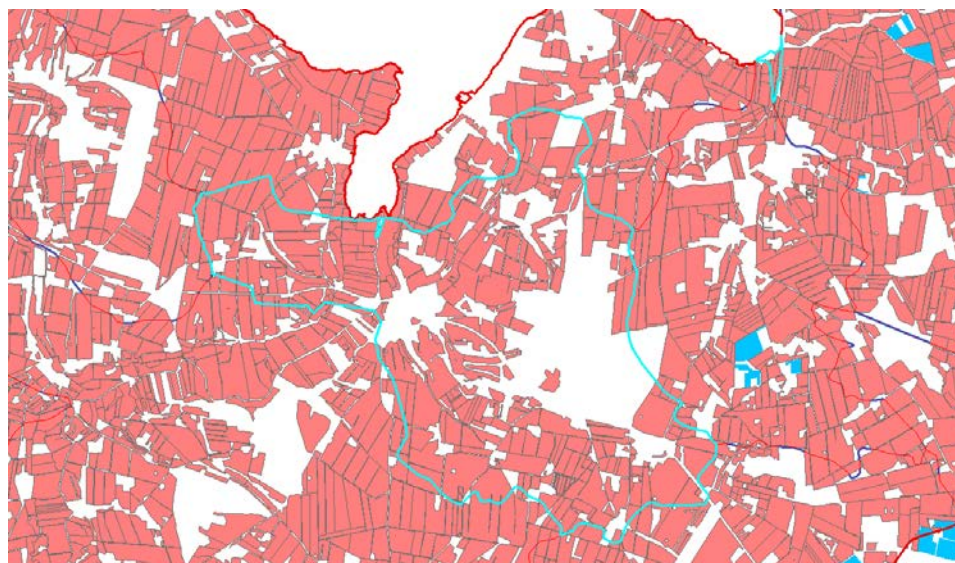
Tabel 5.3 viser såvel antal marker (marker), arealer angivet i ha (i alt ha), indikation af gennemsnitsstørrelse per bedrift (ha/bedrift og ha/mark), som handelsgødningsforbrug angivet i tons N (HandTN). Tillige er angivet gennemsnitsforbruget af handelsgødning i kg/ha (kolonnen til højre). Det fremgår, at der er sket en forøgelse af handelsgødningsforbruget fra ca. 60 kg N/ha til 80 kg N/ha fra 2011 til 2016.

Husdyrholdet for bedrifter i Limfjordens kystvandområde nr. 157 og 158 er ligeledes fordelt efter bedriftstype. På figur 5.6 ses fordelingen af dyreenheder opgjort på den venstre akse samt fordelingen af handelsgødning på den højre akse.



Figur 5.6. Antal dyreenheder per bedriftstype (søjler, venstre akse) samt forbrug af handelsgødning Kg N/ha (punkter, højre akse) for bedrifter i Limfjordsoplandene 157 og 158 for 2011 fremskrevet til 2016

Udover ovennævnte nøgletal skal hver eneste mark tilknyttes et ID15-opland. Som det fremgår af kortet (Figur 5.7) er det en sjældenhed, at markernes grænser flugter ID15-oplandenes grænser. Endvidere er det kun i begrænset antal tilfælde, at den enkelte bedrifts marker ligger i samme ID15-område. De enkelte marker tilknyttes det ID15-opland, hvor størstedelen af arealet er beliggende.

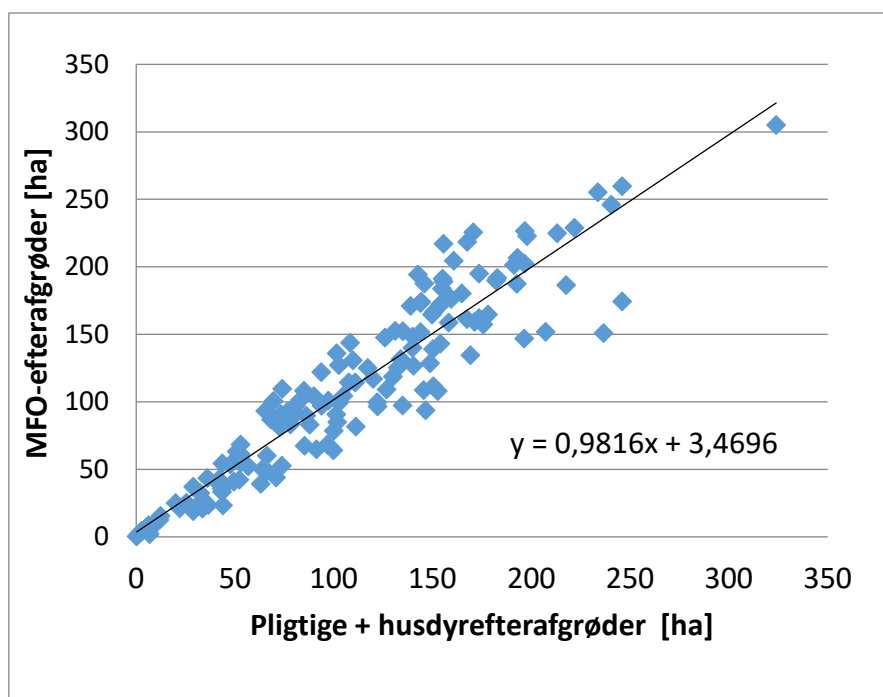


Figur 5.7. Kortet viser de enkelte marker med rødbrun (bedrifter med adresse indenfor oplandene) eller blå farve (tilhørende bedrifter med adresse udenfor oplandene) og ID15 med turkis tynd linje.

I datasættet genereret (se figur 5.1 vist som outputtet) til brug for udvaskningsberegninger angives derfor såvel hele bedriftens areal som de enkelte markers areal, jordtype og afgrøder dyrket. Fordelingen af N gødningen som bedriften har brugt på alle dets marker i 2011 beregnes ud fra disse tal, jf. metodeafsnit 5.2.

Analysen af om grunddata fra 2011 kan anvendes i analyse- og scenariearbejdet viser, at datagrundlaget for såvel husdyrhold og afgrødefordeling for 2011 nogenlunde svarer til gennemsnittet for perioden 2011-2016 på nær mængden af handelsgødning, som er steget fra ca. 60 kg N/ha i 2011 til ca. 80 kg N/ha 2016. I udvaskningsberegningerne vil vi derfor tage udgangspunkt i denne højere handelsgødningsmængde for 2016 samt i de øvrige grunddata fra 2011, jævnfør næste afsnit.

Efterafgrødearealet af pligtige efterafgrøder i Limfjordsoplandet er i 2011 opgjort til ca. 14.980 hektar og indgår i modelberegningerne. Arealer med pligtige efterafgrøder, husdyrefterafgrøder og målrettede efterafgrøder er for 2017 steget i oplandene og er opgjort til samlet 26.065 hektar (Landbrugsstyrelsen, 2018). Heraf er stigningen i de målrettede efterafgrøder på 9.800 ha, og desuden er der indberettet ca. 16.500 hektar som MFO-efterafgrøder. Kravene til MFO-efterafgrøder kan opfyldes med forskellige typer natur (gravhøje, læhegn m.fl.) samt med pligtige efterafgrøder, hvilket gør det vanskeligt at afgøre, om MFO efterafgrøderne dækker over alle de pligtige efterafgrøder. Der er derfor stor usikkerhed om, hvorvidt MFO-efterafgrøderne reelt bidrager med ekstra nye efterafgrøder. For at adressere denne usikkerhed, er der lavet en analyse af sammenhængen mellem pligtige efterafgrøder og de opgivne MFO-efterafgrøder (Figur 5.8).



Figur 5.8. Sammenhæng mellem summen af pligtige efterafgrøder og husdyrefterafgrøder og MFO-efterafgrøder per ID15-opland. Desuden er angivet funktionsudtrykket for sammenhængen.

Resultaterne viser, at der generelt er god sammenhæng mellem pligtige + husdyrefterafgrøder og MFO-arealer, men at der er opgivet som gennemsnit ca. 2% mindre MFO-areal sammenlignet med pligtige og husdyrefterafgrøder. Der er dog oplande, hvor der er opgivet lidt mere MFO-areal sammenlignet med de pligtige + husdyrefterafgrøderne.

5.2 Metode til udvaskningsberegninger for kystvandoplandene 157 og 158

N-udvaskningen er beregnet med den empiriske udvaskningsmodel NLES4 (Kristensen et al., 2008), der er en statistisk udvaskningsmodel baseret på målte udvaskninger fra marker. Modellen beregner en årlig N-udvaskning ud fra en række forklarende variable, der omfatter tilførsel af handelsgødning og husdyrgødning, N-fiksering, vandafstrømning ud af rodzonen, jordtype samt jordens indhold af humus og ler. Desuden indgår en beskrivelse af sædskiftet i forhold til forfrugt, høstet afgrøde og afgrødedække om efteråret og vinteren.

NLES4-modellen er kalibreret til at beregne kvælstofudvaskning, der ligger inden for den variation i de data, som modellen er opstillet på baggrund af. Hvis der sker ændringer i landbrugspraksis, der ligger uden for modellens inputdata, vil modellen ikke være i stand til at gengive disse elementer korrekt. Udvasningsmodellen er derfor blevet opdateret løbende for at afspejle den aktuelle landbrugspraksis, typisk i forbindelse med evalueringer af vandmiljøplaner (Børgesen et al., 2013).

NLES4-modellen anvender en modelberegnet vandbalance (månedlig afstrømning fra rodzonen). Vandbalanceberegningerne er baseret på klimadata (nedbør, temperatur og globalstråling) målt i perioden 1990-2010. Udvasningsberegningerne gennemføres for hvert af de 20 år, og der udregnes en gennemsnitlig årlig udvaskning. Afstrømningen er modelberegnet med Daisy-modellen, som beskrevet i Børgesen et al. (2013). Afstrømningen i Daisy er kalibreret mod totalafstrømninger målt i vandløb ved justering af fordampningsparametre fra bar jord og for afgrøder. Resultaterne af kalibreringen af fordampning/afstrømning er vist i Børgesen et al. (2013). De anvendte jordbundsdata, der indgår i vandbalancemodelberegningerne og i NLES-beregningerne er ligeledes beskrevet i Børgesen et al. (2013).

For at imødekomme usikkerheden om, hvorvidt MFO-kravene opfyldes alene med pligtige og husdyrefterafgrøder eller ved etablering af ekstra efterafgrøder, er der gennemført modelberegninger under to forskellige antagelser om, hvordan landmændene har opfyldt MFO-efterafgrødekravene. 1: det antages, at 25% af de opgivne MFO-efterafgrøder reelt er nye efterafgrøder. 2: der antages 100% overlap mellem eksisterende og MFO-efterafgrøder, så der indregnes ingen ekstra efterafgrøder som følge af MFO-kravet.

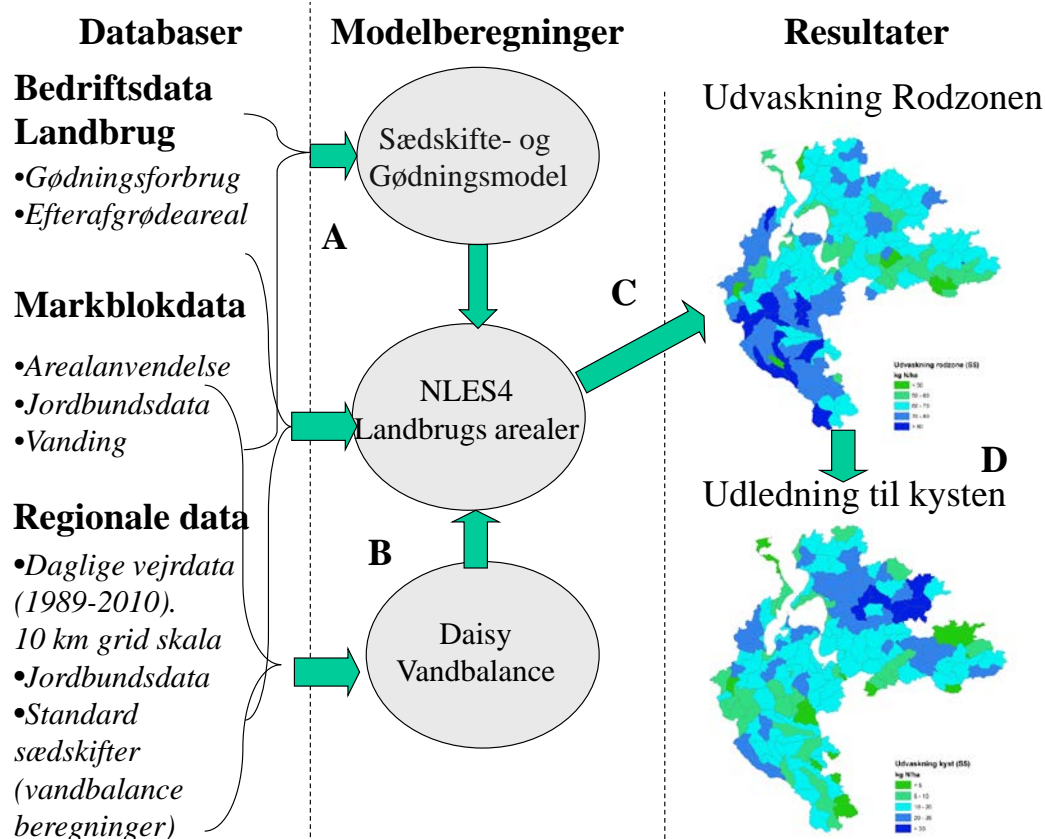
I de to scenarier antages således henholdsvis et areal med 15.319 hektar med nye efterafgrøder i 2016 for antagelse 1 og 11.200 hektar med nye efterafgrøder for antagelse 2. Data for de forskellige typer af efterafgrøder er opgjort af Landbrugsstyrelsen på ID15-oplandsniveau og er ikke opgivet for den enkelte

landmand, hvilket ikke var muligt pga. hensynet til Persondataforordningen. De nye efterafgrøder er derfor fordelt jævnt på omdriftsmarkerne (undtagen på græsmarker) inden for hvert ID15-opland.

Effekten af de nye efterafgrøder er opgjort på baggrund af typetal for effekt af efterafgrøder (Tabel 5.4). Effekten er i modelberegningerne i gennemsnit ca. 34 kg N/ha.

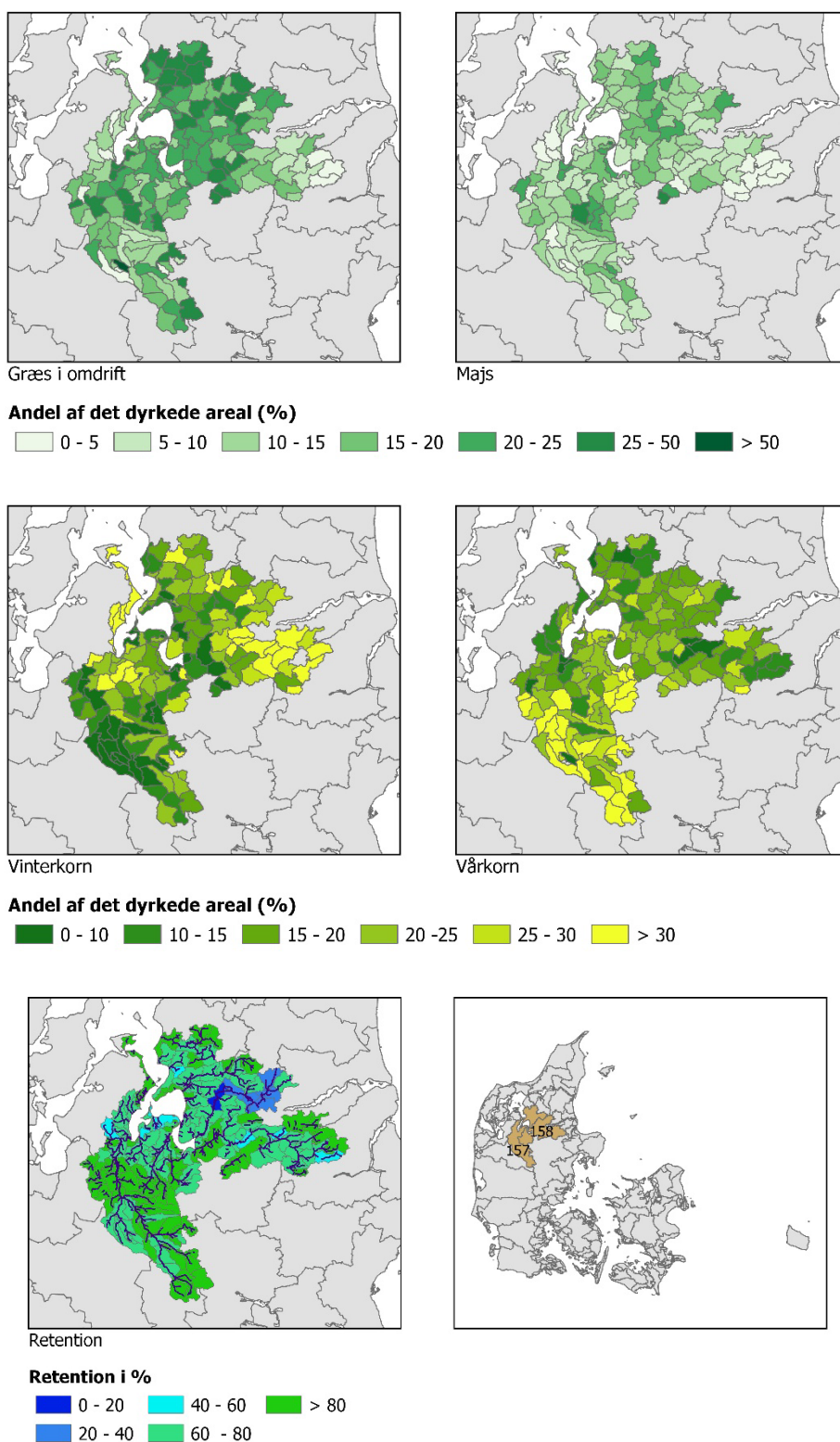
Tabel 5.4 Typetal [kg N/ha] for effekt af efterafgrøder på udvaskningen afhængig af jordtype og dyretæthed jævnfør Virkemiddelkataloget (Eriksen et al., 2014).

| | Ler | Sand |
|-----------------|-----|------|
| Under 0,8 DE/ha | 16 | 34 |
| Over 0,8 DE/ha | 28 | 46 |



Figur 5.9. Principskitse for udvaskningsberegninger med NLES4 fra markbedriftsdata til opgørelse på ID15-oplandsniveau.

I Figur 5.9 er vist et diagram over den række af trin (A-E), der er anvendt i modelberegningen af udvaskningen fra rodzonen. I trin A samles alle relevante data fra landbrugsregistre, jordbundskort, indvindingsdata for markvandingssystemer, klimadata fra Danmarks Meteorologiske Institut samt udbyttedata fra Danmarks Statistik (Tabel 5.1). I trin B opstilles sædskifter og gødningsplaner som grundlag for udvaskningsberegningerne ud fra data på markniveau indhentet fra nationale landbrugsregistre (Tabel 5.1). Sædskifter og gødningsplaner er opstillet ud fra metoden beskrevet i Børgesen et al. (2009). De årlige totale N tilførsler med handelsgødning til det dyrkede areal for 2011 er fremskrevet til 2016 ud fra den lokale udvikling registreret i gødningsregnskaberne (Tabel 5.3). Husdyrgødningsmængder udbragt på markerne stammer fra data fra 2011, der er afstemt med landsopgørelsen af husdyrgødningsmængder produceret og udbragt på markerne jf. Børgesen et al. (2013). N-fiksering i bælgeplanter er modelberegnet ud fra årlige arealanvendelser og estimerede udbytter efter principperne givet i Børgesen et al. (2009). Fordelingen af afgrøder på landbrugsarealet er vist i figur 5.10. Det fremgår, at der er mest græs i omdrift i den nordlige del af oplandet, og at vårkorn dominerer i den sydlige del – hvor også sandjordene er udbredt (Jakobsen et al., 2015). I beregningen for de enkelte scenarier med omlægning til græsproduktion tilpasses sædskifter og N-gødningsplaner afhængig af afgrødens N-norm i de tre scenarier.



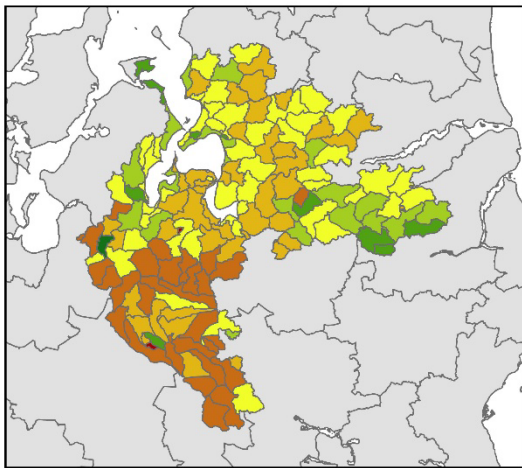
Figur 5.10. Arealanvendelse i Uændret Scenario opgjort som andel af det dyrkede areal i det pågældende ID15-opland. Nederst vises den anvendte retention i % tilbageholdelse af N (Højberg et al., 2015).

Fordeling af den aktuelle mængde husdyrgødning og handelsgødning registreret på bedrifterne (Tabel 5.3) mellem afgrøder og marker for bedrifterne er i modelberegningerne baseret på fordelinger registreret i Landovervågningsoplandene (LOOP oplandene) jf. principperne fra Børgesen et al., (2009).

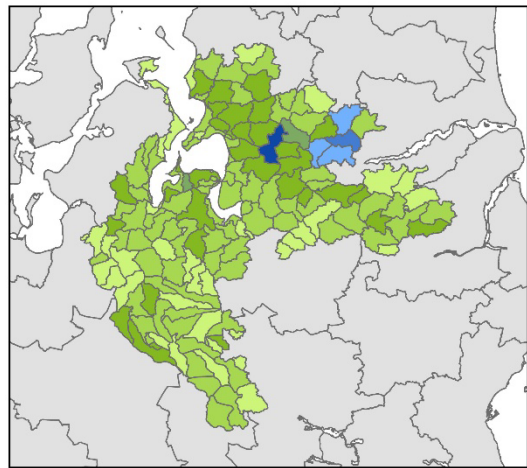
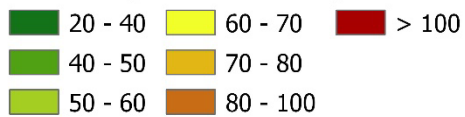
Efterafgrøder har stor betydning for kvælstofudvaskningen. Det er antaget, at de bedriftsopgivne efterafgrøder for 2011 er udlagt på marker, hvor der dyrkes korn eller frøgræs, og hvor der er frøgræs eller vårafgrøder i det efterfølgende år. På kvægbrug anvendes særligt majsmarker til udlægning af efterafgrøder. Effekten af de nye efterafgrøder i 2016/17 opgjort på ID15-niveau ud fra typetal (jf. afsnit 5.2) er fordelt ligeligt på alle marker i omdrift (undtaget græsmarker) inden for ID15-oplandet.

I trin C (Figur 5.9) er der for hver delmark (jordtypeopdelt) gennemført udvaskningsberegninger med NLES4. Der er anvendt data for typejorde i Danmark med typiske kombinationer af over- og underjordstyper. Der er i hver af fem geologiske regioner i Danmark opstillet 11-12 typejorde, som beskrevet i Børgesen et al. (2013). Skalaen for jordtypekortet er ca. 1:25.000. Skalaen af markblokke og marker er opgjort på en betydelig mindre skala. Anvendelse af jordtypekortet i modelberegningerne på både markkortet og markblokkortet er således forbundet med en usikkerhed, da der er betydelig usikkerhed af jordtypefordelingen inden for marken. Det vurderes dog at være udjævnet på et større aggregeringsniveau såsom ID15, region eller national skala. Resultaterne aggregeres ud fra alle markresultaterne til resultater på ID15-oplandsskala.

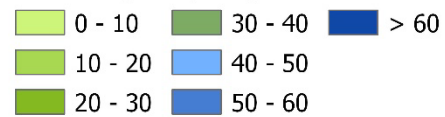
Til slut aggregeres i trin D, og der beregnes en samlet udledning til kysten. Der anvendes den gennemsnitlige totale retentionskoefficient (Højberg et al., 2015) for ID15-oplandet. Resultaterne summeres for hver ID15-opland til et resultat for effekten i Limfjorden (Figur 5.11).



Udvaskning fra rodzone i kg N/ha



Belastning af kyst kg N/ha



Figur 5.11. Nitratudvaskning for Uændret Scenario, nu-situationen, beregnet med arealanvendelsen for 2011, N-gødskning fremskrevet til 2016 samt efterafgrødeareal for 2016/17. Effekterne er dels opgjort for tab ud af rodzonen og dels for tab ud til kysten.

6 Behovet for arealændringer for at opfylde målsætningerne i fjordene efter 2021

6.1 Opsætning af scenarier til opnåelse af reduktionsmål

I modelberegningerne sker en fremskrivning af handelsgødningsforbruget til 2016 som følge af lempelserne med Fødevarer- og Landbrugspakken (2015). Dette har medført en stigning i handelsgødningsforbruget i oplandene fra 60 kg N/ha i 2011 til 81 kg N/ha i 2016 (baseret på gødningsregnskaber 2016, tabel 5.3), hvilket er et lavere niveau end beregnet for hele landet i tilbagerulningsnotatet (Børgesen et al., 2015), hvor en antagelse om fuld udnyttelse af pakkens højere N-normer resulterede i en forventet gennemsnitlig stigning på landsplan på 26 kg N/ha. Reduktionsmålet for de to kystoplande (157 og 158) til Limfjorden er opgjort til 977 t N for perioden efter 2021, hvori indgår både den forventede øgede udledning som følge af øgede N-normer, og de forventede reducerende baselineelementer samt effekter af bl.a. målrettede efterafgrøder og tiltag uden for dyrkningsfladen.

I modelberegningerne (Figur 5.8) er der i trin A gennemført modelberegninger for Uændret Scenario (Scenario 1), hvor der på baggrund af fremskrivningen af den gennemsnitlige tilførsel med handelsgødning til 2016 og en uændret husdyrgødningsmængde som i 2011 er beregnet totale gødningsmængder for oplandene.

Ud fra nitratudvaskningen fra rodzonen og til fjordene (retention indregnet) i Uændret Scenario opdelt på afgrødetype og ID15-oplande er der lavet en prioriteret rækkefølge af, hvilke arealer der omlægges i hvert af de tre omlægningsscenarier. Der er anvendt to forskellige kriterier i udvælgelsen af arealer, der skal omlægges til græsproduktion eller produktion af energipil i de tre scenarier:

- De afgrøder/ID15 kombinationer, som har den højeste nitratudledning til fjordene vælges først
- De afgrøder/ID15 kombinationer, som har den højeste rodzoneudvaskning vælges først.

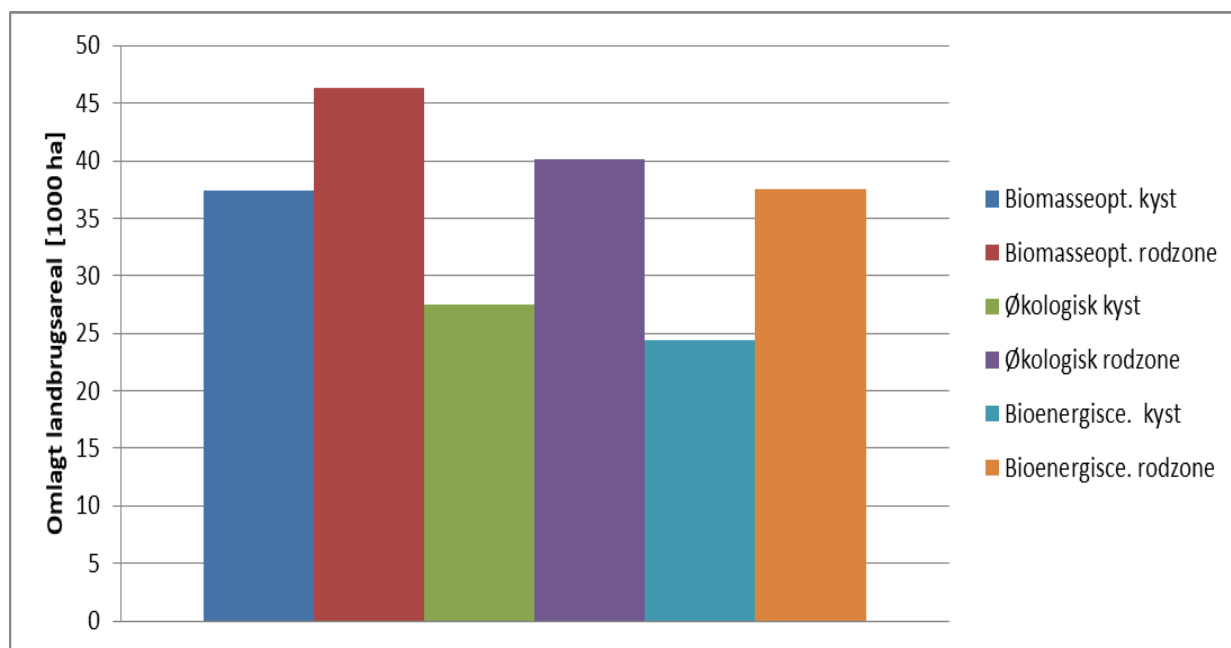
I de enkelte scenarier er der antaget forskellig praksis for N-gødsning: I det Biomasseoptimerede Scenario (Scenario 2) antages, at markerne omlægges til industrigræs. Græsmarkens gødningsnorm øges her til 400 kg N/ha (gennemsnitlig N-norm for uvandet og vandet sandjord for "græs til fabrik" (Landbrugs- og Fiskeristyrelsen, 2017)). Desuden antages det, at marker der er omlagt til industrigræs ikke har nogen kvælstoffiksering. De nye græsmarker antages at være fireårige, hvorefter de ompløjes, og der sås vårkorn med udlæg, således at der etableres en græsmark igen.

I det Økologiske Scenario (Scenario 3) antages, at den husdyrgødning, som markerne før omlægning blev gødet med, også tilføres kløvergræsmarken efter omlægning. Derimod fjernes handelsgødningen, og med det lave gødningsniveau vil det føre til en stigning i N-fikseringen. N-fikseringen er beregnet på baggrund af Høgh-Jensen (2003).

I Bioenergiscenariet (Scenario 4) antages, at der etableres energipil, hvor gødningsnormen er på 120 kg N/ha. Den husdyrgødningsmængde, der hidtil har været tilført den omlagte mark beholdes, såfremt gødningsnormen på 120 kg N /ha ikke overskrides. Her anvendes en gennemsnitlig udnyttelse af husdyrgødnings-N på 75% for svinebrug og 70% for kvægbrug. Såfremt der ikke er gødet op til 120 kg N/ha med husdyrgødning, suppleres med handelsgødning. Såfremt der hidtil har været tilført mere udnyttelig husdyrgødning end N-normen tilsiger, vil husdyrgødningen eksporteres ud af området³. Afgroden energipil findes ikke i N-LES, og derfor er udvaskningen antaget at svare til udvaskningen fra permanent græs med samme gødskningsniveau.

6.2 Resultat af scenarieberegninger

Figur 6.1 angiver, hvor stor en omlægning af landbrugsareal til dyrkning af græs eller pil, der vil kræves i hvert scenario for at opfylde målsætningen om reduceret udledning til fjordene efter 2021. Den mindste omlægning på ca. 25.000 ha, ud af det samlede areal på 169.000 ha, vil kræves ved omlægning til energipil, hvor der udvælges arealer med lav retention. Det højeste omlægningskrav på ca. 47.000 ha er beregnet for det Biomasseoptimerede Scenario, hvor der alene er udvalgt omlægning på basis af den højeste udvaskning fra rodzonen før omlægning.



Figur 6.1. Landbrugsareal, der kræves omlagt i de tre scenarier med forskellig målretning af udvaskningen, for at opnå en reduktion i udledningen til kysten på 977 t N årligt i forhold til Uændret Scenario. MFO-krav opfyldt 100% med pligtige og husdyrgødningsefterafgrøder.

³ Det antages i de økonomiske beregninger, at nettoindtægten ved denne eksport af husdyrgødning (salgsværdi af gødningen med fradrag af transportomkostninger) er lig nul.

Resultaterne (arealomlægningen) for de to strategier for inddragelse af ekstra efterafgrøder med 100% og 75% opfyldelse af MFO kravet med pligtige og husdyrefterafgrøder viste ikke den store forskel, da der er tale om meget små effekter i det samlede billede. Vi præsenterer derfor kun resultaterne for 100% opfyldelse af MFO-arealkravet med pligtige og husdyrefterafgrøder, hvilket vi antager er den mest realistiske antagelse jf. figur 5.8.

En reduktion i kystbelastningen på 977 ton N svarer til, at der skal reduceres ca. 6 kg N/ha på kystudledningen i gennemsnit for oplandene (Tabel 6.1). Dette svarer til en gennemsnitlig reduktion i nitratudvaskningen fra rodzonen på mellem 15 og 25 kg N/ha for de forskellige scenarier. Det Biomasseoptimerede scenario, hvor græsproduktionen er størst, kræver omlægning af mellem 22% og 28% af hele landbrugsarealet afhængig af, hvilken målretningsstrategi, der vælges. De to andre scenarier kræver en lidt mindre arealomlægning på 16-24%. Udvælgelsen i scenarierne er sket på baggrund af en udvaskningsmæssigt optimeret strategi. Hvis det var frivilligt, hvilke arealer landmændene ville omlægge til græs eller energipil, kan det forventes, at der skal en betydelig større omlægning til for at nå de 977 t N. Til gengæld ville en frivillig ordning formodes at have en lavere omkostning, idet landmanden ville placere optimalt i forhold til hans sædskifte og placering af marginaljorde.

Tabel 6.1. Procent af landbrugsarealet der kræves omlagt i oplandene og gennemsnitlige ændringer for hele oplandet i mark N-balancekomponenter (Kg N/ha) for de tre scenarier målrettet henholdsvis N-udledningen ved kysten og udvaskningen fra rodzonen. Resultater for 100% opfyldelse af MFO-arealkrav med pligtige, og husdyrefterafgrøder.

| | % landbrugs-areal omlagt | Udvaskning kyst kg N/ha | Udvaskning rodzone Kg N/ha | Handels-gødning Kg N/ha | Husdyr-gødning kg N/ha | N-fikse-ring Kg N/ha |
|-----------------------------------|--------------------------|-------------------------|----------------------------|-------------------------|------------------------|----------------------|
| 1 Biomasseopt. Målrettet kyst | 22 | -6 | -17 | +57 | 0 | -1 |
| 1 Biomasseopt. Målrettet rodzone | 28 | -6 | -24 | +64 | 0 | -1 |
| 2 Økologisk Målrettet kyst | 17 | -6 | -15 | -12 | 0 | 26 |
| 2 Økologisk Målrettet rodzone | 24 | -6 | -25 | -16 | 0 | 35 |
| 3 Bioenergisce. Målrettet kyst | 16 | -6 | -15 | 6 | -2 | 0 |
| 3 Bioenergisce. Målrettet rodzone | 23 | -6 | -26 | 8 | -2 | 0 |

De biomasseoptimerede scenarier medfører en betydelig stigning i brugen af handelsgødning svarende til en stigning fra ca. 80 kg N/ha i det uændrede scenario (repræsenterende året 2016) til henholdsvis 137 og 144 kg N/ha. Der er ingen ændringer for husdyrgødningsmængden, men et lille fald i N-fikseringen, der skyldes at nogle kløvergræsmarker i omdrift er omlagt til rene græsmarker uden kløver.

Det Økologiske Scenario kræver en mindre omlægning end det biomasseoptimerede scenarie, idet NLES4 beregner en mindre nitratudvaskning fra det lavere gødede kløvergræs. Kravet til omlægning er her henholdsvis 17 og 24 % af landbrugsarealet afhængig af målretning. N-fiksering for disse marker er beregnet til at stige, således at den gennemsnitlige N-fiksering stiger med 26 kg N/ha og 35 kg N/ha afhængig af omlægningens målretning.

For bioenergiscenariet, hvor markerne omlægges til energipil med en gødningsnorm på 120 kg N/ha, kræves en omlægning på henholdsvis 16 og 23% af landbrugsarealet i oplandet. I scenariet forekommer et fald i handelsgødningsforbruget på 6 og 8 kg N/ha for hele området afhængig af metoden for målretning. Idet der ved modelleringen ikke tillades overgødskning af energipil, er der for nogle af de omlagte marker eksporteret husdyrgødning ud af oplandet. Dette udgør ca. 2 kg N/ha for hele oplandet. I virkeligheden vil husdyrgødningen sikkert substituere noget af den ekstra handelsgødning, der er lagt ind i modelberegningerne.

I forhold til anvendelse af græs fibre til kvægfodring, vil en ændring af fodring til malkekøer, hvor majsensilage erstattes af fiberpulp (se afsnit 9), kræve 22 ha fiberpulp pr 100 årskøer (svarer til ca. 140 DE). I området er der samlet set 160.000 DE kvæg. I dag er ca. 75% af den danske kvægbestand malkekøer,

og under denne forudsætning vil der kunne afsættes græsfiberpulp fra et areal på ca. 19.000 ha. Det svarer kun til omkring halvdelen af det græsareal, der kræves etableret i biomassescenariet ved 100% målopfyldelse, og resten af fibre må enten eksporteres ud af oplandet eller benyttes til fx biogas.

Majs er den afgrøde, hvoraf den største procentvise andel på mellem 56 og 93% omlægges (Tabel 6.2), fordi det er her den største reduktion i nitratudvaskning opnås. Herefter sker de næststørste omlægninger på mellem 33 og 77% i vårbyg og i anden vårsæd.

Tabel 6.2. Ændringer (i % af oprindeligt areal) for hver afgrøde i seks scenarier. Yderst til højre er vist de oprindelige arealer. Resultater for 100% opfyldelse af MFO-arealkrav med pligtige, og husdyrefterafgrøder.

| % ændring i areal i forhold til oprindeligt areal per afgrøde | 1 Bio-masseopt. Målrettet kyst | 1 Bio-masseopt. Målrettet rodzonen | 2 Øko. Målrettet kyst | 2 Øko. Målrettet rodzonen | 3 Bioenergi, Målrettet kyst* | 3 Bioenergi, Målrettet rodzonen* | Oprindeligt areal 1000 ha |
|---|--------------------------------|------------------------------------|-----------------------|---------------------------|------------------------------|----------------------------------|---------------------------|
| Græs omdrift | +135 | +153 | +94 | +127 | +84 | +120 | 31,0 |
| Vedv græs | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 14,9 |
| Vårbyg | -46 | -77 | -33 | -60 | -28 | -55 | 31,6 |
| Vinterbyg | -41 | -5 | -27 | -3 | -22 | -1 | 5,9 |
| Vinterhvede | -22 | -5 | -8 | -1 | -8 | -1 | 23,1 |
| Vinterraps | -23 | 0 | -11 | 0 | -9 | 0 | 7,3 |
| Ikke dyrket | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5,1 |
| Majs | -68 | -93 | -56 | -89 | -51 | -89 | 19,4 |
| Kartofler | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5,0 |
| Roer | -29 | 0 | -25 | 0 | -14 | 0 | 0,6 |
| Havre | -62 | -87 | -52 | -69 | -47 | -66 | 3,0 |
| Vårhvede | -35 | -69 | -20 | -33 | -20 | -26 | 0,9 |
| Vinterrug | -23 | -5 | -13 | -1 | -11 | -1 | 9,7 |
| Helsæd | -9 | 0 | -8 | 0 | -8 | 0 | 6,3 |
| Frøgræs | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2,5 |
| Omlagt areal af hele landbrugsarealet (%) | 25 | 28 | 17 | 23 | 16 | 22 | 166,9 |

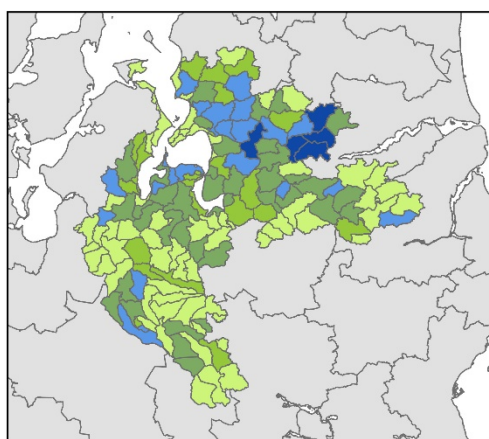
* Ændringen er til energipil

Der vil være en risiko for overlap mellem virkemidler, hvis der dels implementeres vådområder, som øger retentionen, dels etableres efterafgrøder og græs, som reducerer nitratudledningen fra marken. Vi kender af gode grunde ikke den præcise placering af virkemidlerne frem mod 2021, og har således ikke kunnet indregne evt. overlap.

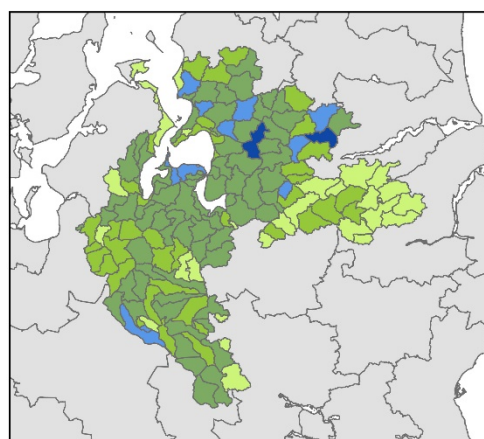
Vi har derfor også analyseret muligheden for med biomasseproduktion at nå hele målsætning på 1.316 tons N per år i oplandene, hvilket inkluderer den forventede effekt fra skovrejsning, MFO og målrettet regulering frem mod 2021 (Miljø- og Fødevareministeriet, 2016). Når hele målsætningen på denne måde inkluderes i omlægningsscenarierne, vil risikoen for overlap mellem virkemidler undgås. Resultatet af denne analyse viste, at det vil kræve yderligere 7-10 %-point arealomlægning at nå dette højere mål (kun estimeret for det Økologiske Scenario). Det vil således være teknisk muligt at opnå den fulde vandmiljømålsætning alene med omlægning til økologisk græsproduktion på under 1/3 af landbrugsarealet.

I figur 6.2 er vist, hvor stor reduktionen af nitratudvaskningen er for hvert scenario optimeret henholdsvis til kyst og ud af rodzonen. Det fremgår, at når der er optimeret efter maksimal reduktion i kystudledning, er det specielt i områder med lav retention, at der sker størst omlægning og dermed størst reduktion i nitratudvaskningen. Når der er optimeret efter maksimal reduktion i udvaskningen fra rodzonen, er omlægningen og dermed reduktionen i nitratudvaskning mere jævnt fordelt, dog med størst reduktion i ID15-områder med sandet jord.

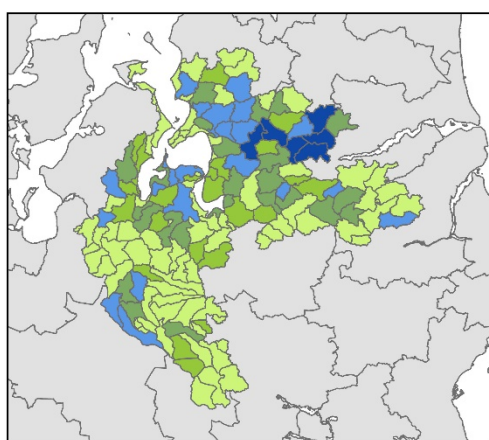
Den samme forskel afspejles i, hvor stor en andel af landbrugsarealet der vil kræves omlagt i ID15-områderne (Figur 6.3). Ved optimering mod kystudledningen vil kræves omlagt mest areal i områder med lav retention (over 50%), mens det er større arealer, mest på sandjord, som skal omlægges ved optimering af udvaskning fra rodzonen.



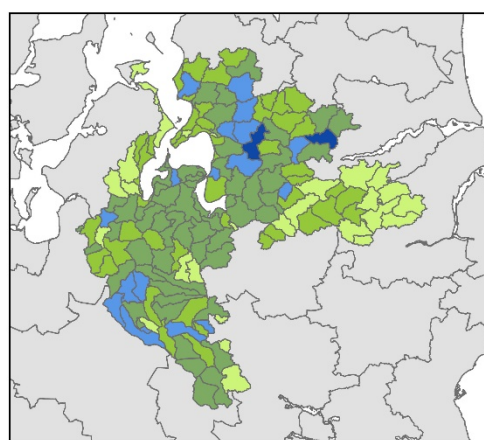
Biomasse - kyst



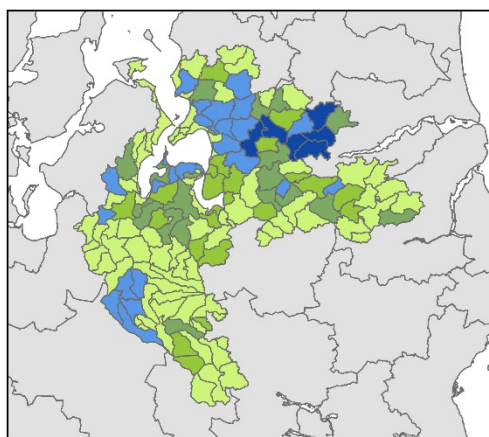
Biomasse - rodzone



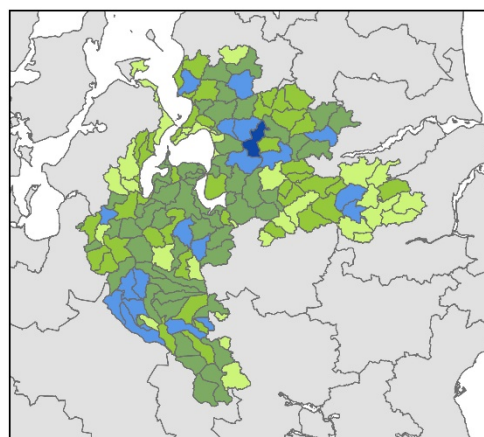
Økologi - kyst



Økologi - rodzone

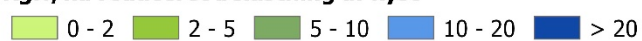


Energipil - kyst

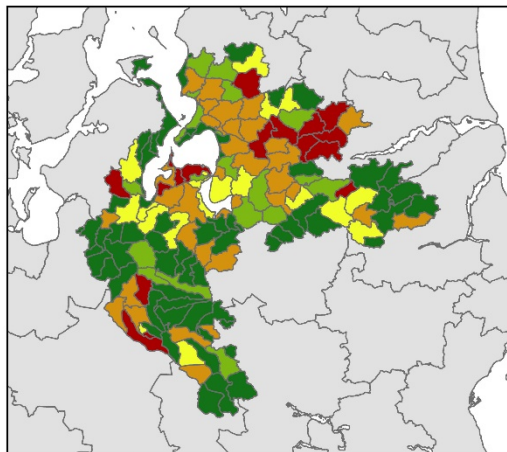


Energipil - rodzone

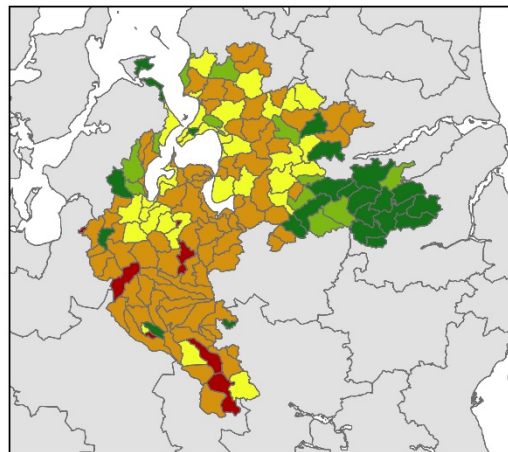
KgN/ha reduceret belastning af kyst



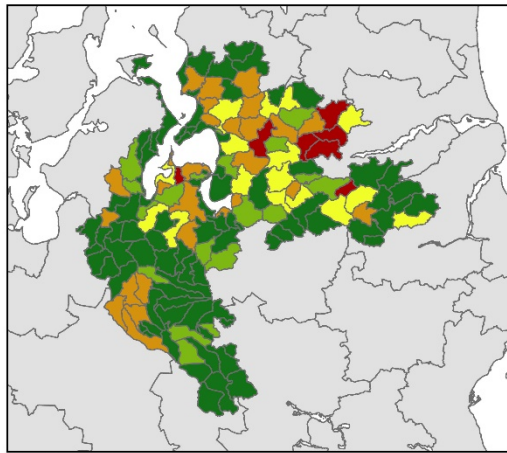
Figur 6.2. Effekt på gennemsnitlig nitratudledning til henholdsvis kyst og ud af rodzonen for de 3 scenarier fordelt over ID15-områder.



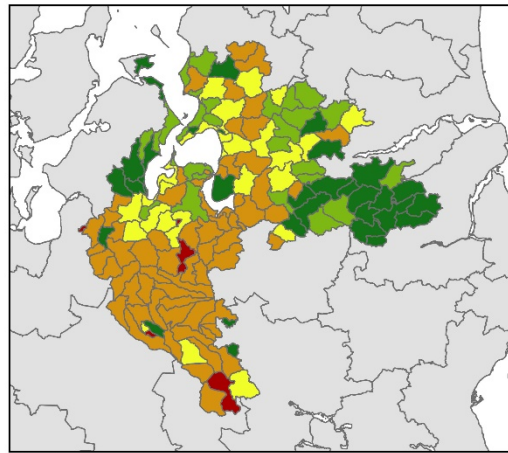
Biomasse - kyst



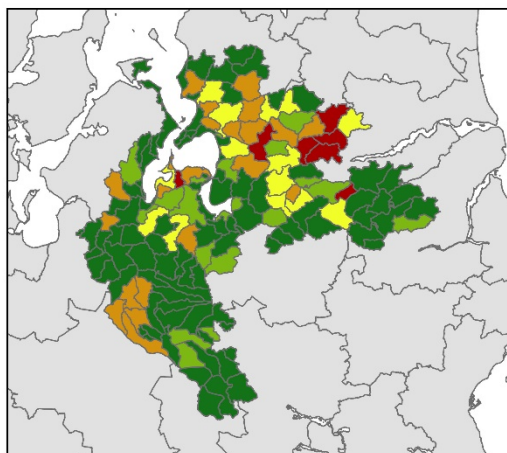
Biomasse - rodzone



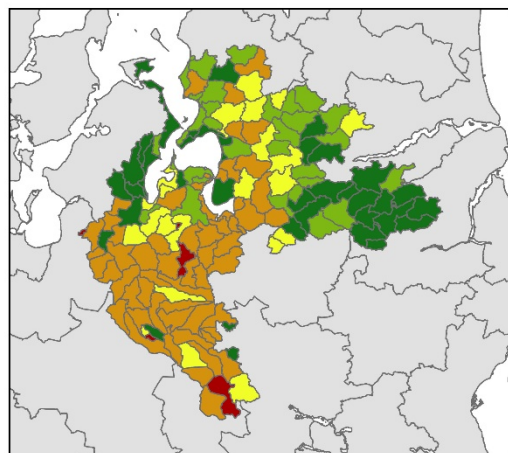
Økologi - kyst



Økologi - rodzone



Energipil - kyst



Energipil - rodzone

Andel omlagte jorde (%)



Figur 6.3. Procentandel omlagte jorder per ID15-område for de 3 scenarier og ved optimering af henholdsvis udvaskning til kyst og udvaskning ud af rodzonen.

7 Overordnede økonomiske analyser af omlægning til græs til bioraffinering eller til energipil

7.1 Metoder, datagrundlag og beregningsforudsætninger

Raffineringsprocessen ved raffinering af græs og kløvergræs giver tre slutprodukter: tørret protein som er fordøjelig for enmavede dyr, en fiberfraktion der kan anvendes som grovfoder til drøvtyggere og en restsaft der anvendes som råvare i biogasproduktion. I nærværende analyse foretages der økonomiberegninger for scenarierne 2, 3 og 4 for implementering af bioraffinering i Limfjordsoplandene 157 og 158.

- Scenario 2 – biomasseoptimeret: Raffinering af konventionelt produceret græs til protein og kvægfoder samt til biogas
- Scenario 3 – økologisk: Raffinering af økologisk produceret kløvergræs til økologisk protein og kvægfoder samt til biogas
- Scenario 4 – bioenergi: Produktion af energipil til biolieproduktion eller kraftvarme

For alle tre scenarier gælder det, at arealer i nuværende "normal" landbrugsdrift omlægges til biomasseproduktion (henholdsvis konventionelt rent græs eller økologisk kløvergræs eller energipil), hvorved der sker stigninger i biomassearealet og fald i de "normale" afgrødearealer.

I det følgende redegøres kort for de anvendte beregningsforudsætninger i de økonomiske analyser af de tre typer scenarier. En detaljeret oversigt over de konkrete forudsætninger vedrørende økonomien i bioraffineringen er givet i Appendiks 1.

7.1.1 Bioraffinering af græs til protein (scenario 2 og 3)

Data vedrørende processer og omkostninger i bioraffineringsleddet stammer for en stor del fra forsknings- og udviklingsprojektet BioValue (www.biovalue.dk), samt fra beregninger gennemført af SEGES. Som udgangspunkt for beregningerne betragtes et anlæg med en årlig driftstid på 3000 timer og en kapacitet på 20.000 tons TS (tørstof) græs pr. år⁴. Med en tørstofprocent på 18 svarer det til ca. 111.000 tons frisk græs pr. år, som antages at kræve et areal i størrelsesordenen 2.600 ha i scenario 2 og 3.300 ha i scenario 3.

Det forudsættes overordnet, at bioraffineringsanlægget producerer ca. 3.600 tons TS tørret proteinkoncentrat (18% af de 20.000 ton TS), med et proteinindhold på 47%, 14.000 tons TS pulp til kvægfoder,

⁴ En anlægsstørrelse med en kapacitet på 20.000 tons TS græs pr. år vurderes at afspejle en økonomisk hensigtsmæssig afvejning af størrelsesøkonomiske fordele på selve bioraffineringsanlægget overfor stigende transportomkostninger pr. ton biomasse ved større anlægsstørrelse.

samt 2.500 tons TS brunsaft til biogas. Det producerede proteinkoncentrat værdisættes ud fra en antagelse om, at proteinet (omregnet til sojaskrå-ækvivalenter med et proteinindhold på 45%) er et direkte substitut til protein fra sojaskrå, som forudsættes at have en markedspris på 2,50 kr. pr. kg⁵. Markedsprisen på konventionel non-GM sojaskrå er ca. 3,65 kr./kg, mens den aktuelle markedspris på økologisk sojaskrå er på 5,35 kr. pr. kg.

Pulpen forudsættes at have samme foderværdi pr. kg TS som græs, dvs. en foderenhed pulp har værdien 1,27 kr., fratrukket omkostninger til at transportere pulpen fra bioraffinaderiet til kvægstalden (og dermed en værdi på 908 kr. pr. ton TS ved en gennemsnitlig transportafstand på 10 km). Pulpen forudsættes at indeholde 70% af den samlede foderværdi fra den oprindelige uforarbejdede biomasse.

Brunsaften værdisættes baseret på værdien af saftens biogas-potentiale (370 Nm³ (normalkubikmeter) gas pr. ton TS i brunsaften, som forventes afsat til en pris på 4,50 kr. pr. Nm³), fratrukket håndteringsomkostninger på biogasanlægget samt transportomkostninger fra bioraffineringsanlæg til biogasanlæg og fra biogasanlæg til mark. Da håndterings- og transportomkostninger overstiger værdien af gasproduktionen er netto-værdien af brunsaften negativ (-6,90 kr. pr. ton brunsaft).

⁵ De 2,50 kr/kg for sojaskrå ligger i den lave ende for de seneste 10 års prisudvikling. I 2012-2014 var prisen 20-30% højere.

Tabel 7.1. Selskabsøkonomisk beregning for grøn bioraffinering (kr./år)

| | Mængde | Konventionel | | Non-GM | | Økologisk | |
|---------------------------------------|--------|------------------|-------------------|----------|-------------------|-----------|-------------------|
| | | Pris (kr./enhed) | Beløb (t. kr./år) | Pris | Beløb (t. kr./år) | Pris | Beløb (t. kr./år) |
| Indtægter | | | | | | | |
| Tørret protein (tons sojaskrå-ækv) | 3.778 | 2.500,00 | 9.445 | 3.700,00 | 13.978 | 5.000,00 | 18.889 |
| Presserest (1000 FE) | 11.166 | 1.270,00 | 14.181 | 1.270,00 | 14.181 | 1.245,04 | 13.903 |
| Brunsaft (tons) | 57.292 | 12,00 | 688 | 12,00 | 688 | 12,00 | 688 |
| <i>Indtægter i alt</i> | | | <i>24.314</i> | | <i>28.847</i> | | <i>33.480</i> |
| Omkostninger | | | | | | | |
| Transport, biomasse | 16.044 | 138,65 | 2.225 | 138,65 | 2.225 | 155,86 | 2.501 |
| Transport, presserest (1000 FE) | 11.166 | 138,65 | 1.548 | 138,65 | 1.548 | 155,86 | 1.740 |
| Transport, brunsaft | 57.292 | 18,90 | 1.083 | 18,90 | 1.083 | 18,90 | 1.083 |
| Hjælpestoffer | | | 727 | | 727 | | 727 |
| Energi | | | 1.525 | | 1.525 | | 1.525 |
| Personaleomkostninger | | | 1.474 | | 1.474 | | 1.474 |
| Kapitalomkostninger (1000 kr.) | 20.000 | | 2.834 | | 2.834 | | 2.834 |
| <i>Omkostninger i alt</i> | | | <i>11.415</i> | | <i>11.415</i> | | <i>11.883</i> |
| Rest til betaling for biomasse | | | | | | | |
| - 1000 kr./år | | | 12.898 | | 17.432 | | 21.596 |
| - kr./FE | | | 0,80 | | 1,09 | | 1,35 |

Kilde: Jensen & Gylling (2018)

Note: t.kr. ~ 1000 kr.

Etablering af bioraffinaderiet forudsættes at kræve en samlet investering på 20 mio. kr., som antages forrentet med 4 pct. og afskrevet over 10-15 år (sliddele 10 år, andre dele 15 år), samt at afstedkomme årlige vedligeholdelsesomkostninger på op til 5 pct. af investeringen. Driften af selve anlægget antages at kræve 5.000 arbejdstimer pr. år (samlet årlig personaleomkostning på knap 1,5 mio. kr.), samt input af energi og hjælpepestoffer til en samlet omkostning på ca. 2,3 mio. kr. pr. år.

I de økonomiske vurderinger regnes med en gennemsnitlig dyrkningsomkostning for græs på 1,27 kr/FE⁶ (ab mark), som er den pris der regnes med i Farmtal-online's driftskalkuler⁷. Prisen afspejler græssets alternativ-værdi, hvis det anvendes umiddelbart som grovfoder og antages at give fuld dækning af produktionsomkostningerne (inklusive jordleje, som afspejler det overskud som kunne opnås ved dyrkning af fx byg eller hvede) på langt sigt. Af disse dyrkningsomkostninger udgør omkostninger til jordleje i størrelsesordenen 15-20 pct. ved konventionel græsdyrkning.

Der regnes med gennemsnitligt 10 km transport af grøn biomasse (frisk græs) til bioraffinaderiet (transportomkostning 11,12 kr./ton TS/km), 10 km transport af pulp fra bioraffinaderiet til kvægbedrifter (pris 11,12 kr./ton TS/km) og 10 km transport af brunsaft (pris 1,89 kr./ton brunsaft/km).

I beregningerne er der principielt skelnet mellem værdikæder for henholdsvis konventionel og økologisk produktion af græs- og kløverprotein. Den økologiske værdikæde adskiller sig fra den konventionelle værdikæde på tre punkter: der anvendes økologisk kløvergræs som biomassegrundlag (og dermed omkostninger til dyrkning af økologisk kløvergræs), presseresten (pulpen) kan afsættes som erstatning for økologisk grovfoder til kvæg (til en pris som for økologisk grovfoder), og transportomkostningerne vil være forskellige på grund af større gennemsnitlig afstand mellem økologiske end konventionelle græsarealer. Derimod er raffineringsomkostninger pr. ton tørstof antaget at være ens for konventionel og økologisk produktion.

Ifølge Danmarks Statistiks produktionsgrensstatistik for jordbruget har der de senere år ikke været væsentlige forskelle i de samlede omkostninger pr. foderenhed til henholdsvis økologisk og konventionel dyrkning af græs/kløver i omdrift. Derimod er der væsentlige forskelle i sammensætningen af dyrkningsomkostningerne pr. foderenhed, hvor variable omkostninger (gødning mv.) for økologisk dyrkning udgør en mindre andel, mens omkostninger til jordleje udgør en større andel af omkostningerne pr. produceret

⁶ FE: foderenhed. 1,27 kr/FE svarer til 1019 kr. pr. ton tørstof i kløvergræs.

⁷ Kilde: Farmtal-online, 2018. Til sammenligning viser tal fra Danmarks Statistik (Økonomien i jordbrugets produktionsgrene, div. årgange) dyrkningsomkostninger i størrelsesordenen 1,36 kr/FE som gennemsnit over de senere år, mens der i andre beregninger er forudsat dyrkningsomkostninger på 1,17 kr/FE (Fog & Thierry, 2016). Det skal i den forbindelse bemærkes, at tallene fra Danmarks Statistik bygger på realiserede resultater for alle heltidsbedrifter i Danmark, mens tallene fra Farmtal-online er budgettal, som bygger på opstillede beregningsforudsætninger.

foderenhed. Der regnes med en 12⁸ pct. højere gennemsnitlig transportafstand for økologisk græs og pulp, sammenlignet med konventionel.

Økonomien i raffinering af græs til proteinkoncentrat er opsummeret i opstillingen i tabel 7.1 for henholdsvis en konventionel og en økologisk produktion af protein-koncentrat. Derudover indeholder tabellen en beregning af økonomien, hvis det udvundne protein-koncentrat kan afsættes til en pris svarende til prisen for non-GM sojaskrå.

De 3.600 ton TS produceret proteinkoncentrat kan omregnet til 3.778 sojaskrå-ækvivalenter, der som nævnt forudsættes at have en markedspris på 2,50 kr. pr. kg. De 14.000 tons TS pulp forudsættes at have samme foderværdi som græs (ca. 0,8 FE/kg TS) og giver således en samlet foderværdi på godt 12 mio. FE. Brunsaften antages at have en tørstofandel på 4% og de 2.500 ton TS brunsaft svarer således til 57.292 tons brunsaft, som værdisættes ud fra værdien af saftens biogas-potentiale (16*4,5 kr./ton brunsaft), fratrukket håndteringsomkostninger på biogasanlægget (60 kr./ton brunsaft) samt transportomkostninger fra bioraffineringsanlæg til biogasanlæg og fra biogasanlæg til mark (i alt 18,90 kr./ton brunsaft).

Beregningerne for den konventionelle produktion viser, at såfremt protein-koncentratet kan afsættes til en pris svarende til prisen på konventionel sojaskrå, er værdien af protein-koncentratet knap 9,5 mio. kr. pr. år, mens værdien af presseresten kan opgøres til ca. 14 mio. kr., hvis den forudsættes anvendt som grovfoder til kvæg. Når omkostninger til raffinering og transport trækkes fra denne produktionsværdi fås et beløb (break-even pris), som kan dække en dyrkningsomkostning for biomassen på 0,80 kr/FE (ab mark).

Hvis det i stedet antages, at protein-koncentratet kan afsættes til en pris svarende til non-GM sojaskrå (som er knap 50% højere end for GM-sojaskrå) fås derimod en break-even pris for biomassen på 1,09 kr/FE. Sammenholdt med en forudsat dyrkningsomkostning på 1,27 kr./FE, vil levering til bioraffinering således heller ikke umiddelbart være økonomisk fordelagtig.

For den økologiske værdikæde for grøn protein (scenarie 2) er break-even prisen på biomassen beregnet til 1,35 kr/FE, hvilket er lidt højere end den økologiske dyrkningsomkostning, som ligger i samme størrelsesorden som for konventionel dyrkning af græs.

Et alternativ til at afsætte pulpen som grovfoder er at foretage en yderligere presning af pulpen og derved øge mængden af grønsaft – og dermed den fra grønsaften udvundne højværdi-protein – med 50-60 pct. og anvende presseresten som råvare i biogasproduktion, i stedet for som grovfoder. Sammenlignet med beregningen i tabel 7.1 vil det betyde en ca. 50 pct. forøgelse af værdien af tørret protein

⁸ De 12 pct. er estimeret som forøgelsen af radius i en cirkel med et 21 pct. større areal, som er nødvendig for at opveje den gennemsnitlige udbyttenedgang pr. hektar ved skift fra konventionel til økologisk græs.

(svarende til 0,30-0,40 kr./FE græs), en forøgelse af værdien af biogaspotentialt på 0,10-0,20 kr./FE græs (dels fra afgangning af pulpen og dels fra en øget mængde brunsaft fra protein-raffinering), samt et bortfald af indtægten fra salg af presserest til grovfoder (ca. 0,85-0,90 kr./FE græs). Hertil kommer en yderligere raffineringssomkostning som følge af en ekstra presning og raffinering af en større mængde grønsaft. Netto vurderes økonomien at være mindre favorabel ved denne raffineringstrategi end den i tabel 7.1 præsenterede.

Den afgassede brunsaft indeholder planteneringsstoffer, som kan nyttiggøres ved spredning på landbrugsjord. Det skønnes, at brunsaften har en gødningsværdi svarende til ca. 25-27 kg N-gødning pr. ton TS, svarende til knap 2 kg N-gødning pr. ton brunsaft. Med en kvælstofpris på 6,50 kr./kg svarer det til en gødningsværdi på ca. 13 kr. pr. ton brunsaft eller 6-7 kr. pr. ton frisk biomasse. Denne værdi er ikke indregnet, men kunne indebære en forøgelse af break-even prisen på græsset på op til 5 øre pr. FE ved den konventionelle grønne protein-værdikæde, mens forøgelsen af break-even prisen sandsynligvis vil være større ved den økologiske protein-værdikæde.

7.1.2 Raffinering af pileflis til flydende motorbrændstof (scenario 4)

I scenario 4 antages, at der i stedet for afgrøder med høj nitratudvaskning, dyrkes energipil. Pileflis kan fx tænkes anvendt som råvare i fremstillingen af flydende brændstof i et hydrothermal liquefaction (HTL) bioraffineringsanlæg. Pedersen et al. (2018) har vurderet økonomien heri med udgangspunkt i et anlæg, som har en kapacitet på 1.000 ton biomasse pr. dag. De fandt, at omkostningen ved brændstof-fremstillingen svarer til 2-3 gange prisen på fossilt baseret benzin, og denne konverteringsrute vil kræve betydelig støtte for at blive konkurrencedygtig.

Som et alternativ til at etablere HTL anlæg lokalt til processering af pileflis til flydende brændstof er det i stedet antaget, at det producerede pileflis afsættes til fjernvarmeproduktion til en markedspris i størrelsesordenen 700 kr. pr. ton TS ab mark (vurderet på baggrund af beregninger i Dubgaard et al., 2013). Ifølge budgetkalkuler fra Farmtal-online vil dette kunne give et dækningsbidrag II i størrelsesordenen 900 kr./ha +/- ca. 500 kr./ha, afhængig af udbyttene.

7.1.3 Forudsætninger vedrørende dyrkningsøkonomi i biomasseafgrøder

De økonomiske beregninger vedrørende dyrkningsøkonomien bygger på udtræk af budgetkalkuler for udvalgte afgrøder fra Farmtal-Online: vårbyg, vinterbyg, vinterhvede, vinterraps, majs til helsæd og kløvergræs i omdrift⁹. For hver af disse afgrøder er der sondret mellem sandjord (JB 1-3) og lerjord (JB 5-6), og der er sondret imellem, om der gødes med husdyrgødning eller ej. Herudover er der inddraget budgetkalkuler for energipil (uden brug af husdyrgødning). På baggrund af disse kalkuler er der beregnet

⁹ Der ses generelt bort fra specialafgrøder i analyserne.

dækningsbidrag (dækningsbidrag II, dvs. efter dækning af stykomkostninger og arbejds-/maskinomkostninger) for fire sædskifter på henholdsvis ler- og sandjord (sædskifte 1 er et femårigt sædskifte med biomassegræs, mens de tre øvrige sædskifter repræsenterer sandsynlige anvendelser af landbrugsarealer i fraværet af grøn bioraffinering.):

1. Korn-/græssædskifte (vårbyg m. udlæg/græs/græs/græs/græs) med husdyrgødning (biomasse)
2. Korn-/grovfodersædskifte (majs til helsæd/vårbyg/græs/græs) med husdyrgødning
3. Kornsædskifte (vårbyg/vinterbyg/hvede/vinterraps) med husdyrgødning
4. Kornsædskifte (vårbyg/vinterbyg/hvede/vinterraps) uden husdyrgødning

Det antages i beregningerne, at kvægbedrifter opererer med et korn-/grovfodersædskifte med husdyrgødning (sædskifte 2), og at andre husdyrbedrifter anvender et kornsædskifte med husdyrgødning (sædskifte 3). Plantebedrifter som ikke aftager husdyrgødning antages at anvende et kornsædskifte uden husdyrgødning (sædskifte 4). Såfremt plantebedrifter modtager gødning fra husdyrbedrifter antages de i stedet at anvende et kornsædskifte med husdyrgødning (sædskifte 3)¹⁰. Høstudbyttet fra kvægbedrifternes græsarealer i omdrift antages i udgangspunktet (baseline) værdisat med en pris på 1,27 kr./FE, baseret på græssets foderværdi. Hvis græsproduktionen i stedet afsættes til bioraffinering, værdisættes den til den pris, som bioraffineringsanlægget kan betale, jf. ovenstående selskabsøkonomiske beregning for bioraffineringen (1,09 kr./FE, hvis proteinkoncentratet kan afsættes til en pris svarende til prisen på non-GM sojaskrå).

Økonomiske nøgletal for de fire sædskifter på henholdsvis sand- og lerjord fremgår af tabel 7.2. Nøgletallene for biomassesædskiftet (sædskifte 1) er beregnet under forudsætning af en græspris på 1,09 kr./FE.

¹⁰ Det antages i beregningerne, at alle bedrifter kan dyrke biomassegræs med samme produktivitet og økonomiske resultat på en given jordtype. Der sondres således ikke imellem, om bedriften har erfaring med græsdyrkning eller ej.

Tabel 7.2. Økonomiske nøgletal vedrørende udvalgte sædskifter i baseline (gns. kr./ha)

| | Brutto-udbytte | Stykomk. | Dækningsbidrag I | Arbejds- og maskinomk. | Dækningsbidrag II |
|---|----------------|----------|------------------|------------------------|-------------------|
| <i>Sandjord (JB 1-3):</i> | | | | | |
| 1A. Korn-/græssædskifte (biomasse) m. husdyrgødning | 8.301 | 1.313 | 6.988 | 5.608 | 1.380 |
| 1B. Økologisk korn-/græssædskifte (biomasse) m. husdyrgødning | 9.180 | 1.313 | 7.867 | 6.195 | 1.672 |
| 2. Korn-/grovfodersædskifte m. husdyrgødning | 9.477 | 1.602 | 7.875 | 5.755 | 2.119 |
| 3. Kornædskifte m. husdyrgødning | 7.254 | 1.691 | 5.563 | 5.287 | 276 |
| 4. Kornædskifte u. husdyrgødning | 7.254 | 3.059 | 4.195 | 4.754 | -559 |
| 5. Energipil | 4.512 | 1.222 | 3.290 | 3.181 | 109 |

Lerjord (JB 5-6):

| | | | | | |
|---|--------|-------|-------|-------|-------|
| 1. Korn-/græssædskifte (biomasse) m. husdyrgødning | 9.547 | 1.365 | 8.183 | 5.952 | 2.231 |
| 1B. Økologisk korn-/græssædskifte (biomasse) m. husdyrgødning | 9.855 | 1.365 | 8.490 | 6.009 | 2.481 |
| 2. Korn-/grovfodersædskifte m. husdyrgødning | 10.887 | 1.646 | 9.241 | 6.134 | 3.107 |
| 3. Kornædskifte m. husdyrgødning | 10.935 | 1.809 | 9.126 | 6.168 | 2.958 |
| 4. Kornædskifte u. husdyrgødning | 10.935 | 3.316 | 7.620 | 5.598 | 2.022 |
| 5. Energipil | 5.312 | 1.222 | 4.090 | 3.181 | 909 |

Kilde: Farmtal-Online, kalkuler for 2018

Note: Nøgletal repræsenterer gennemsnit pr. år for afgrøderne i de respektive sædskifter. For biomassegræs er der ikke taget hensyn til evt. højere kvælstofintensitet end i fodergræs, hvorfor de viste tal for biomassegræs kan være udtryk for et underkantsskøn for dækningsbidraget.

7.1.4 Raffinering af økologisk kløvergræs til økologisk protein

Som det fremgår af kalkulerne i tabel 7.1 synes bioraffinering af økologisk produceret kløvergræs til økologisk proteinfoder at muliggøre en betaling for kløvergræsset på niveau med værdien af græsset som grovfoder. Da de gennemsnitlige høstudbytter pr. hektar i økologisk græs er ca. 20 pct. lavere end i konventionelt græs, vil et scenario med økologisk biomasseproduktion lægge beslag på et ca. 20 pct. større areal pr. bioraffineringsanlæg.

Et bredere scenario for en økologisk værdikæde for grøn biomasse kan tænkes realiseret ad to kanaler:

- Nuværende økologiske bedrifters omlægning af afgrødeproduktion til biomasseproduktion på bekostning af eksisterende afgrøder
- Omlægning af nuværende konventionelt dyrkede arealer til økologisk drift med biomasseproduktion som en væsentlig aktivitet.

Som anført ovenfor er de samlede dyrkningsomkostninger pr. produceret enhed grøn kløvergræs stort set de samme for økologisk og konventionel græsdyrkning, men sammensætningen af dyrkningsomkostningerne er forskellig, med bl.a. en større omkostningskomponent til aflønning af jord (og dermed også et højere dækningsbidrag II) i økologisk dyrkning. Hovedparten af de økologiske landbrugsbedrifter i Limfjordsoplandene er kvægbedrifter, som alle antages at have en betydelig produktion af grovfoder, og en væsentlig del af den økologiske biomasseproduktion antages at ske på bekostning af disse eksisterende grovfoderarealer. Baseret på data for økonomien i jordbrugets produktionsgrene (Danmarks Statistik, 2017) vurderes det, at den gennemsnitlige årlige indtjening i et 5-årigt sædskifte med vårbyg og fire års biomassegræs er på samme niveau som indtjeningen i et 4-års økologisk korn/helsæd/græs/græs sædskifte.

Såfremt der indtænkes omlægning af nuværende konventionelt dyrkede arealer til økologisk biomasseproduktion, kan der være tale om både sædskifter med grovfoder på kvægbedrifter og sædskifter uden grovfoderafgrøder på andre husdyrbedrifter og på plantebedrifter. Der er foretaget et skøn over dyrkningsøkonomien for økologisk biomassegræs, med udgangspunkt i nøgletallene for konventionel dyrkning, og med supplerende forudsætninger for den økologiske græsproduktion. Konkret forudsættes det, at der høstes 1.700 FE/ha mindre for økologisk græs end for konventionel på sandjord, og ca. 2.200 FE/ha mindre på lerjord, at dyrkningsomkostninger pr. ha er 3.300 kr. lavere for økologisk end for konventionel dyrkning af græs, samt at det økologiske biomassegræs kan sælges til en pris på 1,35 kr./FE, imod 1,09 kr./FE for konventionel biomassegræs (jf. beregningerne i tabel 7.1). Desuden antages, at gødningsomkostningen pr. ha i økologisk græsproduktion har samme størrelse som i konventionel græsproduktion. Dette giver en forskel i dækningsbidrag II til biomassegræs på ca. +290 kr./ha for sandjord, og +250 kr./ha for lerjord i forhold til konventionel dyrkning. Værdien af næringsstoffer i den afgassede brunsaft vurderes at kunne udgøre op til 10 øre pr. FE biomasse. Denne værdi er ikke indregnet i det følgende.

7.1.5 Dyrkningsøkonomiske konsekvenser af at øge biomasseproduktion

Som nævnt indebærer de tre scenarier en omlægning af eksisterende afgrødeproduktion til biomasseproduktion. Hvilke afgrødearealer der reduceres, afhænger dels af de pågældende bedriftstyper og dels af scenariet. For kvægbedrifter antages biomasseproduktionen eksempelvis at ske på bekostning af arealer i korn-/grovfodersædskifter (sædskifte 2), jf. afsnit 7.1.3. De økonomiske konsekvenser heraf pr. hektar biomasseareal estimeres som forskellen mellem dækningsbidrag II i henholdsvis biomasseproduktion og korn-/grovfodersædskiftet – på sandjord $1.380 - 2.119 = -739$ kr./ha. Hvis der omlægges til græsproduktion på svine- og plantebedrifter på sandjord (sædskifte 3 og 4) kan der opnås en økonomisk fordel. Men derved vil der formentlig ske en overproduktion af græsfibre, som enten skal eksporteres ud af oplandet, eller kan udnyttes til biogas.

Dyrkning af energipil forudsættes at ske på bekostning af kornsædskifter for alle bedrifter. Da forarbejdningen af pileflis ikke giver en grovfoderproduktion, vil grovfoderarealer ikke kunne omlægges til 20-års

pileproduktion uden samtidig reduktion af kvægproduktionen¹¹. For bedrifter med husdyrproduktion vurderes de dyrkningsøkonomiske konsekvenser i forhold til et kornsædskifte med husdyrgødning, mens de for plantebedrifter vurderes i forhold til et kornsædskifte uden brug af husdyrgødning.

Der er gennemført økonomiske beregninger for landbruget, opdelt på 15 typer landbrugsbedrifter, som afspejler forskelle i bl.a. størrelse, jordtype og omfang af husdyrproduktion på bedrifterne. Strukturdata for bedriftstyperne er hentet fra Danmarks Statistiks Regnskabsstatistik for jordbrug, som er baseret på et repræsentativt udsnit af danske jordbrugsbedrifter. De 15 bedriftstyper adskiller sig fra hinanden ved driftsform, jordtype (for plantebedrifter) og husdyrtæthed (for husdyrbedrifter). Driftsformerne er defineret på baggrund af bedrifternes hovedproduktion (som udgør mindst to tredjedele af bedriftens standard-output). Der sondres mellem plantebedrifter med specialafgrøder og plantebedrifter som fokuserer på korn og raps. I omlægningsscenarierne antages specialafgrøder friholdt fra omlægning, men der kan alligevel være forskel i de økonomiske effekter for plantebedrifter med og uden specialafgrødeproduktion, bl.a. i kraft af forskelle i bedrifternes jordbonitet. En plantebedrift er karakteriseret som lerjordsbedrift, hvis mindst 50% af dens areal er lerjord, og som sandjordsbedrift, hvis mindst 50% af dens areal er sandjord. Udvalgte karakteristika ved bedriftstyperne fremgår af tabel 7.3.

¹¹ Man kunne forestille sig, at kvægbedrifter kunne omlægge grovfoderarealer til pil og i stedet indkøbe grovfoderet, men relativt høje transportomkostninger for grovfoder vil formentlig være en barriere herfor.

Tabel 7.3. Karakteristika for 15 bedriftstyper, 2015 (baseline)

| Bedriftsgrupper | Ler-jord | Sand-jord | Dyrket i alt | Korn | Raps | Majs | Græs i omdrift | Andet omdrift | Vedv. græs og brak/udtaget |
|-------------------------------|---------------|-----------|--------------------------------|-------|------|------|----------------|---------------|----------------------------|
| | Arealandel, % | | ----- Hektar pr. bedrift ----- | | | | | | |
| Plante, korn, ler | 91% | 7% | 96,2 | 64,2 | 13,4 | 0,6 | 2,0 | 5,8 | 10,2 |
| Plante, specialafgrøder, ler | 97% | 3% | 214,9 | 133,4 | 19,2 | 0,0 | 1,3 | 48,1 | 12,8 |
| Plante, korn, sand | 5% | 60% | 81,1 | 44,0 | 4,1 | 2,1 | 5,3 | 4,9 | 20,9 |
| Plante, specialafgrøder, sand | 3% | 40% | 204,4 | 112,1 | 4,5 | 3,6 | 3,5 | 71,0 | 9,6 |
| Malkekvæg, < 1,4 DE/ha | 25% | 37% | 84,6 | 26,6 | 2,5 | 8,0 | 20,6 | 14,7 | 12,2 |
| Malkekvæg, > 1,4 DE/ha | 19% | 37% | 154,2 | 18,3 | 0,6 | 38,5 | 40,2 | 48,5 | 8,0 |
| Kødkvæg | 23% | 33% | 115,8 | 65,3 | 3,2 | 13,2 | 3,9 | 22,5 | 7,6 |
| Svin, < 1,4 DE/ha | 62% | 19% | 176,5 | 133,1 | 20,2 | 0,2 | 1,1 | 12,2 | 9,7 |
| Svin, > 1,4 DE/ha | 52% | 27% | 131,4 | 101,5 | 14,8 | 0,9 | 0,6 | 7,0 | 6,7 |
| Fjerkræ | 42% | 27% | 133,4 | 100,2 | 13,4 | 1,0 | 0,8 | 9,0 | 9,0 |
| Pelsdyr | 24% | 46% | 68,0 | 48,8 | 5,4 | 0,3 | 2,5 | 3,3 | 7,7 |
| Øvrige heltidsbedrifter | 38% | 30% | 52,9 | 27,6 | 2,4 | 2,6 | 8,5 | 4,8 | 7,0 |
| Deltid, plante, ler | 95% | 3% | 27,9 | 20,7 | 2,3 | 0,0 | 0,1 | 1,2 | 3,5 |
| Deltid, plante, sand | 1% | 53% | 28,4 | 13,9 | 1,2 | 0,9 | 1,2 | 1,7 | 9,5 |
| Deltid, dyr | 13% | 53% | 17,6 | 3,9 | 1,0 | 0,3 | 4,8 | 0,9 | 6,7 |

Kilde: Danmarks Statistik, 2017, Landbrugsregnskabsstatistik

Det antages, at afgrødestrukturen på bedriftstyperne i Limfjordsoplandene minder om strukturen vist i tabel 7.3¹². Som nævnt ovenfor forudsættes det i beregningerne, at arealer til biomasse-produktion tages fra 4-årige sædskifter, som afhænger af bedriftstype, og hvor bedrifter uden kvæg antages at tage arealet fra et sædskifte med 3 års korn og 1 års raps. Som det fremgår af tabellen, kan dette evt. indebære en overvurdering af det rapsareal der tages ud (idet raps udgør mindre end en fjerdedel af det samlede korn-raps areal) og en undervurdering af det kornareal der tages ud. I så fald kan beregningerne i det følgende opfattes som en optimistisk vurdering af de økonomiske konsekvenser ved at omlægge et korn/raps-sædskifte til biomasseproduktion.

Opdelingen på bedriftstyper anvendes til at vurdere, dels hvilke typer bedrifter der vil kunne have økonomisk fordel af at deltage i grøn biomasseproduktion, og dels den sandsynlige geografiske udbredelse af biomassearealerne i de 3 scenarier.

Som et alternativ til udtagning af et sædskifte vurderes dyrkningsmæssige konsekvenser også i forhold til varig udtagning af landbrugsarealer fra dyrkning (som antages at have et dækningsbidrag II på nul).

¹² Det skal bemærkes at de strukturelle karakteristika for bedrifter i de to kystoplande (157 og 158) kan afvige fra disse karakteristika for bedriftstyperne i landet som helhed.

En sådan opgørelse kan være relevant i geografiske områder, hvor overholdelse af miljøkrav kan nødvendiggøre udtagning af landbrugsarealer i fravær af biomasseproduktion med lav kvælstofudvaskning.

7.1.6 Vurdering af økonomiske og beskæftigelsesmæssige konsekvenser i følgeerhverv

Omdirigering af en del af planteproduktionen fra nuværende anvendelser til bioraffinering har direkte og indirekte konsekvenser for indtjening og beskæftigelse i landbrugets følgeerhverv, såvel på anvendelses- som på forsyningsiden.

Selve bioraffineringen indebærer aktivitet på bioraffinaderierne. Der er i beregningerne som nævnt antaget et personalebehov på 5.000 arbejdstimer årligt for et bioraffineringsanlæg med en kapacitet på 20.000 tons TS græs, svarende til ca. 1,9 arbejdstimer pr. hektar biomasseareal. Hertil kommer transport af uforarbejdet biomasse til anlægget, og restfraktioner fra bioraffinaderiet af et omfang svarende til godt 1 arbejdstime pr. hektar biomasseareal. Værdikæden for grøn protein (inklusive presserest) vil endvidere generere indkomst og beskæftigelse i efterfølgende handels- og distributionsled. På grundlag af regnskabsdata for jordbrugets produktionsgrene (Danmarks Statistik, 2017) og data fra landbrugsspecifikke input-output tabeller (Jacobsen, 2014) vurderes stigningen i nye arbejdspladser til handel med de bioraffinerede produkter at modsvare bortfaldet af tilsvarende arbejdspladser som følge af reduceret "traditionel" afgrødeproduktion. På forsyningsiden kan omlægningen af kornarealer til græsarealer med henblik på biomasseproduktion indebære forskydninger i landbrugets behov for råvarer og hjælpestoffer, eksempelvis et reduceret behov for plantebeskyttelsesmidler, ændret gødningsbehov og ændrede behov for rådgivning mv., hvilket medfører ændret økonomisk aktivitet i de sektorer, som leverer disse varer og tjenester. Netto antages de afledte beskæftigelsesvirkninger for landbrugets følgeerhverv (inklusive effekten på bioraffinaderierne) at udgøre en stigning på ca. 1,5-2,0 arbejdstimer pr. hektar biomasse, med den mindste effekt for arealer der i udgangspunktet dyrkes med grovfoder.

Tilsvarende vurderes der at være en afledt netto-værdiskabelse ved omlægning af kornarealer til grøn biomasse i størrelsesordenen 750 kr./ha (fortrinsvis i kraft af en øget aktivitet til biomassetransport, som er indregnet i omkostningsberegningerne ovenfor), mens der vil være en negativ afledt netto-værdiskabelse (ca. -250 kr./ha), hvis biomasseproduktion sker på bekostning af eksisterende grovfoderarealer, fordi den afledte økonomiske aktivitet (ikke mindst transport-aktivitet) pr. ha dyrket areal generelt er højere for grovfoder end for korn og raps (Jacobsen, 2014).

7.2 Resultater af de økonomiske analyser

Tabel 7.4 viser de dyrkningsøkonomiske konsekvenser af at omlægge udvalgte sædskifter til biomasseproduktion (græs eller energipil) på henholdsvis ler- og sandjord under alternative forudsætninger om biomasseprisen. Såfremt kløvergræs kan sælges til bioraffinering for en pris på 1,27 kr./FE (svarende til græssets værdi som grovfoder), vil omlægning til kløvergræs være økonomisk fordelagtig for alle de betragtede sædskifter, undtagen for kornsædskiftet uden husdyrgødning på lerjordsarealer. En græspris på 1,27 kr./FE ligger dog højere end break-even prisen for græs i forbindelse med grøn bioraffinering (jf. tabel 7.1). Hvis det producerede protein prifsættes som konventionel sojaskrå er break-even prisen 0,80 kr./FE, mens prisen vil være 1,09 kr. hvis protein-produktet kan værdisættes svarende til non-GM sojaskrå. Derfor viser tabel 7.4 også økonomien i omlægning af arealer under disse prisforudsætninger (forudsat at øvrige afgrødepriser er upåvirkede).

Tabel 7.4. Dyrkningsøkonomiske konsekvenser af biomasseproduktion ved alternative forudsætninger om biomassepris, kr./ha omlagt areal

| | Sandjord (JB 1-3) | | | Lerjord (JB 5-6) | | |
|--|-------------------|--|--|------------------|--|--|
|--|-------------------|--|--|------------------|--|--|

Scenario 2. Konventionel biomassegræs:

| Græspris | 0,80 kr./FE | 1,09 kr./FE | 1,27 kr./FE | 0,80 kr./FE | 1,09 kr./FE | 1,27 kr./FE |
|---|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Korn/grovfoder -> græs, kr/ha | 2.415 | -739 | 301 | -2.709 | -876 | 262 |
| Kornsædskifte -> græs, kr/ha | -572 | 1.105 | 2.145 | -2.560 | -727 | 410 |
| Kornsædsk. u/husdyrgødning -> græs, kr/ha | -1.286 | 391 | 1.401 | -3.135 | -1.302 | -165 |
| Udtagning -> græs, kr/ha | -296 | 1.380 | 2.421 | 398 | 2.231 | 3.369 |

Scenario 3. Økologisk biomassegræs:

| Græspris | | 1,35 kr./FE | | | 1,35 kr./FE | |
|--|--|-------------|--|--|-------------|--|
| Korn/grovfoder -> øko. græs, kr/ha | | -447 | | | -626 | |
| Kornsædskifte -> øko. græs, kr/ha | | 1.397 | | | -477 | |
| Kornsædsk. u/husdyrgødning -> øko. græs, kr/ha | | 683 | | | -1.052 | |

Scenario 4. Pil:

| Pris på pileflis | 606,64 kr./t TS | 706,64 kr./t TS | 806,64 kr./t TS | 606,64 kr./t TS | 706,64 kr./t TS | 806,64 kr./t TS |
|--|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Kornsædskifte -> pil, kr/ha | -814 | -167 | 480 | -2.697 | -2.050 | -1.403 |
| Kornsædsk. u/husdyrgødning -> pil, kr/ha | 20 | 667 | 1.314 | -1.760 | -1.113 | -466 |
| Udtagning -> pil, kr/ha | -538 | 109 | 756 | 262 | 909 | 1.556 |

Note: Mens biomassegræs kan dyrkes med eller uden anvendelse af husdyrgødning (således at fx et kornsædskifte med husdyrgødning omlægges til biomassegræs med husdyrgødning), så antages pil kun at dyrkes uden husdyrgødning. Derfor er omlægning fra et kornsædskifte med husdyrgødning til pil relativt ufordelagtig.

Hvis proteinet skal sælges til en pris på niveau med prisen for konventionel GM sojaskrå, vil indtjeningen fra produktion af grøn biomasse ikke kunne konkurrere med de øvrige betragtede sædskifter, mens hvis proteinet kan sælges til non-GM pris, vil omlægning være økonomisk fordelagtig for nogle af sædskifterne men ikke for alle.

Produktion af pileflis til fjernvarme vil med den forudsatte markedspris på 706,64 kr. pr. ton TS ikke kunne konkurrere med kornsædskiftet på lerjord, hverken med eller uden anvendelse af husdyrgødning, og ej heller med et kornsædskifte med husdyrgødning på sandjord. Såfremt prisen på pileflis stiger med 100 kr. pr. ton TS vil den dog også være konkurrencedygtig i forhold til sædskiftet med husdyrgødning på lerjord.

Såfremt bedrifterne råder over udyrkede arealer (fx landbrugsarealer som er udtaget for at overholde miljøregulering mv.), vil inddragelse af disse arealer til dyrkning af biomasse ikke indebære et tab af produktion fra eksisterende sædskifter. Dette viser sig i tabel 7.4, hvor de økonomiske konsekvenser er noget mere fordelagtige, når biomasseproduktionen sammenlignes med udtagning. Dog er økonomien i produktion af energipil stadig forholdsvis følsom over for prisfald på pileflisen.

Det skal bemærkes, at de viste beregninger tager udgangspunkt i en partiel betragtning, hvor omlægningen af et areal med et eksisterende sædskifte til et biomasse-sædskifte kan ske uden at påvirke bedriftens øvrige aktiviteter, såsom husdyrholdet eller afgrødesammensætningen på de arealer som ikke omlægges.

7.2.1 Økonomiske konsekvenser på forskellige bedriftstyper

Som nævnt vurderes den økonomiske effekt af omlægning til grøn biomasseproduktion (græs) fra et antaget eksisterende sædskifte for 15 bedriftstyper (jf. ovenfor) med udgangspunkt i nøgletallene i tabel 7.4 og bedriftenes arealfordeling på ler- og sandjord (Tabel 7.3). For den arealandel på bedriftstyperne, som ikke er karakteriseret som enten ler- eller sandjord regnes med et gennemsnit for de to hovedjordtyper.

Der regnes som udgangspunkt på en situation, hvor proteinproduktet kan afsættes som et alternativ til non-GM sojaskrå, og at det således kan oppebære en pris svarende hertil, dvs. 3,65 kr. pr. kg sojaskrå-ækvivalent, hvilket som nævnt indebærer at bioraffineringsanlægget vil kunne betale en pris på 1,09 kr. pr. FE for biomassen. For de fire planteavls-baserede bedriftstyper samt de to planteavls-baserede typer deltidsbedrifter forudsættes det, at der omlægges fra et kornsædskifte uden brug af husdyrgødning. For de tre kvæg-baserede bedriftstyper antages der omlægning til biomassegræs fra et korn/grovfodersædskifte med brug af husdyrgødning (og at kvægbedrifter ikke vil vælge at dyrke energipil), og for de øvrige bedriftstyper forudsættes omlægning fra et kornsædskifte med brug af husdyrgødning.

Tabel 7.5. Økonomisk effekt af grøn biomasseproduktion på forskellige bedriftstyper, kr./ha omlagt

| Bedriftsgrupper | Gevinst ved konv. græs, kr./ha | Gevinst v. øko. græs, kr./ha | Gevinst ved pil, kr./ha |
|-------------------------------|--------------------------------|------------------------------|-------------------------|
| Plante, korn, ler | -1.165 | -877 | -969 |
| Plante, specialafgrøder, ler | -1.249 | -958 | -1.057 |
| Plante, korn, sand | 11 | 270 | 268 |
| Plante, specialafgrøder, sand | -143 | 120 | 106 |
| Malkekvæg, < 1,4 DE/ha | -799 | -531 | - |
| Malkekvæg, > 1,4 DE/ha | -795 | -528 | - |
| Kødkvæg | -800 | -531 | - |
| Svin, < 1,4 DE/ha | -206 | 74 | -1.514 |
| Svin, > 1,4 DE/ha | -42 | 234 | -1.345 |
| Fjerkræ | 47 | 322 | -1.253 |
| Pelsdyr | 394 | 660 | -897 |
| Øvrige heltidsbedrifter | 116 | 389 | -1.183 |
| Deltid, plante, ler | -1.235 | -944 | -1.042 |
| Deltid, plante, sand | -18 | 242 | 238 |
| Deltid, dyr | 556 | 819 | -730 |

Det fremgår af denne beregning, at for ca. halvdelen af bedriftstyperne vil der være et moderat tab af indtjening pr. hektar (0-400 kr. pr. omlagt ha) eller måske endda en mindre gevinst ved dyrkning af græs til proteinproduktion, mens plantebedrifter beliggende på lerjord vil tabe ca. 1.200 kr. pr. ha, som omlægges til græs med den forudsatte afregningspris (Tabel 7.5)¹³. Kvægbedrifter vil tabe ca. 800 kr. pr. ha ved omlægning af eksisterende sædskifter til biomassegræs, fordi prisen på græsset som biomasse er 18 øre lavere end som grovfoder under de opstillede beregningsforudsætninger.

I det økologiske scenario er de økonomiske effekter pr. hektar ca. 200-300 kr. gunstigere for alle bedriftstyper. Ingen af bedriftstyperne (måske bortset fra plantebrug på sandjord) vil kunne få økonomisk fordel af at omlægge typiske nuværende sædskifter til 20-års energipil med de forudsatte prisforhold.

7.2.2 Afledte effekter på andre erhverv

Som redegjort for i metodeafsnittet ovenfor er det søgt at kvantificere afledte effekter på værditilvækst og beskæftigelse i følgeindustrier. Et bioraffineringsanlæg med en kapacitet på 20.000 tons TS biomasse aftager grøn biomasse fra et areal på ca. 2.600 ha og vurderes at give en netto-beskæftigelses effekt på ca. 3 fuldtidsstillinger, bestående af positive direkte beskæftigelseseffekter på bioraffineriet og i forbindelse med transport af biomasse, mens der vil være mindre modsatrettede beskæftigelsesvirkninger i sektorer, som forarbejder og distribuerer de afgrøder, som fortrænges af biomasseproduktionen. Afledt værditilvækst vurderes at ligge mellem 0 og knap 2 mio. kr. årligt pr. bioraffineri af denne

¹³ Bemærk, at også for plantebedrifter karakteriseret ved specialafgrødeproduktion antages biomasseproduktionen at ske på bekostning af korn- og rapsproduktion.

størrelse. Det skal bemærkes, at der her regnes med en noget lavere beskæftigelseseffekt end i tidligere beregninger for den såkaldte "10 mio. tons plan" (Gylling et al., 2016). I den tidligere beregning inddrages biomasse fra bl.a. efterafgrøder, vejrabatter og grøftekanter samt skovbruget, mens biomassen i nærværende beregning alene hidrører fra omlægning af egentlig afgrødeproduktion.

7.2.3 Følsomhedsvurderinger

Fordelingen af økonomiske konsekvenser på bedriftstyper varierer med de underliggende beregningsforudsætninger, hvor bl.a. forudsætninger om, hvilke sædskifter der erstattes, samt forudsætninger om biomasseprisen er væsentlige.

Tabel 7.6 viser resultater af følsomhedsberegninger angående disse faktorer. Vedrørende sædskifteantagelser er det i ovenstående beregning forudsat at biomasseproduktion på planteavlsbedrifter erstatter kornsædskifter uden anvendelse af husdyrgødning. Da der i Limfjordsområdet er en betydelig husdyrproduktion, er det sandsynligt, at en del af disse planteavlsbedrifter modtager gødning fra nogle af husdyrproducenterne i området. Første resultatkolonne i tabel 7.6 viser således de økonomiske effekter, såfremt det for alle planteavlsbedrifter antages at biomasseproduktion sker på bekostning af sædskifter med anvendelse af husdyrgødning. Det fremgår, at det ovennævnte tab ved omlægning på planteavlsbedrifter i så fald reduceres væsentligt. For planteavlsbedrifter på lerjord er det dog stadig ikke økonomisk fordelagtigt at omlægge arealer med kornsædskifter til biomasseproduktion, mens det for planteavlsbedrifter på sandjord bliver økonomisk fordelagtigt.

De næste tre resultatkolonner viser de økonomiske effekter ved alternative prisforudsætninger for biomassen, (som afspejler salgsprisen på det færdige proteinprodukt) - prissætning af proteinet ud fra GM sojaskrå, ud fra non-GM sojaskrå og ud fra markedsprisen på grovfoder, som ligger på niveau med den pris der kunne afregnes til, hvis proteinet kan prissættes ud fra prisen på økologisk sojaskrå. Resultaterne viser, at økonomien i høj grad afhænger af denne afregningspris. Kan proteinet sælges som økologisk, vil biomasseproduktionen være økonomisk konkurrencedygtig på næsten alle de betragtede bedriftstyper, hvorimod en prissætning af proteinet på niveau med konventionel GM sojaskrå vil gøre, at næsten ingen af bedriftstyperne kunne finde biomassedyrkning økonomisk attraktiv, under de givne forudsætninger.

Den geografiske tæthed af biomassearealerne spiller en rolle for de gennemsnitlige afstande, som biomassen skal transporteres, og dermed for den pris, som bioraffineringsanlægget kan betale for biomassen. Den femte og sjette resultatkolonne viser økonomien i at omlægge til biomasseproduktion, hvis den gennemsnitlige transportafstand for biomasse og pulp reduceres eller øges med 5 km, fra en gennemsnitlig transportafstand på 10 km til hhv. 5 og 15 km (under forudsætning af en græspris på 1,09 kr./FE). Dette svarer stort set til en stigning eller et fald på 5 øre i afregningsprisen på biomassen - eller en ca. 300 kr. stigning/reduktion i indtjeningen pr. hektar biomasse.

Den sidste resultatkolonne viser de økonomiske effekter, hvis udbytteneiveauet i græsproduktionen antages at være 20 pct. højere end i den nuværende grovfoderproduktion (se fx Manevski et al., 2017). Også denne resultatkolonne er beregnet under forudsætning af en afregningspris for græsset på 1,09 kr./FE, svarende til break-even prisen ved afsætning af proteinkoncentratet til en pris svarende til non-GM protein sojaskrå. Resultaterne viser, at der med denne pris vil kunne opnås lønsom omlægning til biomasseproduktion for en del af bedriftstyperne - dog ikke plantebrug på lerjord, hvor korn- og rapsudbytterne pr. hektar er forholdsvis høje.

Tabel 7.6. Følsomhedsanalyse på økonomien på bedriftstyper ved konventionel græsproduktion til non-GM protein

| Bedriftsgrupper | Planteavl m/ husdyrgødning | 0,80 kr./FE | 1,09 kr./FE | 1,27 kr./FE | Transport -5km | Transport +5km | Græs- udbytte +20% |
|-------------------------------|-------------------------------|-------------|---------------|-------------|-------------------|-------------------|--------------------------|
| Plante, korn, ler | -579 | -2.986 | -1.165 | -36 | -852 | -1.479 | -877 |
| Plante, specialafgrøder, ler | -669 | -3.077 | -1.249 | -114 | -934 | -1.564 | -955 |
| Plante, korn, sand | 693 | -1.701 | 11 | 1073 | 306 | -284 | 228 |
| Plante, specialafgrøder, sand | 527 | -1.868 | -143 | 928 | 155 | -440 | 84 |
| Malkekvæg, < 1,4 DE/ha | -799 | -2.544 | -799 | 284 | -498 | -1.100 | -426 |
| Malkekvæg, > 1,4 DE/ha | -795 | -2.536 | -795 | 285 | -495 | -1.095 | -425 |
| Kødkvæg | -800 | -2.546 | -800 | 284 | -499 | -1.101 | -426 |
| Svin, < 1,4 DE/ha | -206 | -1.994 | -206 | 904 | 102 | -514 | 194 |
| Svin, > 1,4 DE/ha | -42 | -1.816 | -42 | 1.059 | 264 | -348 | 349 |
| Fjerkræ | 47 | -1.719 | 47 | 1.144 | 352 | -257 | 434 |
| Pelsdyr | 394 | -1.343 | 394 | 1.472 | 693 | 94 | 762 |
| Øvrige hel-tidsbedrifter | 116 | -1.644 | 116 | 1.209 | 420 | -187 | 499 |
| Deltid, plante, ler | -654 | -3.061 | -1.235 | -101 | -920 | -1.550 | -942 |
| Deltid, plante, sand | 662 | -1.732 | -18 | 1.046 | 277 | -314 | 201 |
| Deltid, dyr | 556 | -1.167 | 556 | 1.626 | 853 | 259 | 916 |

8 Omkostninger ved at opfylde målsætningerne i fjordene baseret på afgrødekalkuler

I de efterfølgende beregninger er benyttet simple dækningsbidragsberegninger (Farmtal online) for de beregnede omlægninger i scenarierne, idet prisen for græs er fastsat ud fra økonomiske analyser af grønne bioraffinaderier, og prisen for pileflis er baseret på tidligere analyser (se afsnit 7). Da udvælgelsen af marker til omlægning alene er sket med henblik på at opnå den maksimale reduktion i nitratudvaskningen, må det bemærkes, at disse omlægninger i virkeligheden kan være vanskelige for landmanden at implementere ligeså optimalt.

Alle reduktioner i nitratudvaskning på enkeltmarker i scenarieberegningerne er koblet med det ændrede dækningsbidrag for en given omlægning (Tabel 8.2-8.4), og summeret til en gennemsnitlig effekt per bedrift. På den måde kan beregnes en omkostning eller gevinst per kg N reduceret i fjordene. Ud fra disse data viser figur 8.1 - 8.6 trappfunktioner med først gevinster og siden omkostninger for at opnå det omlagte areal, der er beregnet nødvendigt for at opnå den ønskede reduktion af kvælstof i fjordene.

Tabel 8.1. Typologier til afgrødebaseret omkostningsanalyse og trappfunktion.

| | | | |
|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|
| Sandjord (JB 1-3) | Sandjord (JB 1-3) | Lerjord (JB 5-6) | Lerjord (JB 5-6) |
| Med husdyrgødning | Uden husdyrgødning | Med husdyrgødning | Uden husdyrgødning |
| mHUGsand | uHUGsand | mHUGler | uHUGler |

Note: Afhængig af jordtypen (under eller over 50% lerjordsareal, med JB-klasse >5, per bedrift) og om markerne på den enkelte bedrift er husdyrgødet eller ej (klassificeret som husdyrgødet, hvis der i gennemsnit tildeles > 20 kg husdyrgødnings-N/ha/år).

Tabel 8.2. Ændring i dækningsbidrag på afgrødetypeniveau ved omlægning til intensivt græs til bioraffinering (Scenario 2).

| | Vårkorn -> biomassegræs, kr./ha | Vinterbyg -> biomassegræs, kr./ha | Vinterhvede -> biomassegræs, kr./ha | Vinterraps -> biomassegræs, kr./ha | Majs-> biomassegræs, kr./ha |
|----------|---------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------|
| mHUGsand | 1.164 | 1.282 | 975 | 997 | -1.320 |
| uHUGsand | 276 | 484 | 406 | 398 | -1.453 |
| mHUGler | 112 | -128 | -1.764 | -1.129 | -1.166 |
| uHUGler | -716 | -812 | -2.075 | -1.606 | -1.443 |

Note: Dækningsbidrag for konventionel vårbyg er benyttet som udtryk for alle vårkornsmarker. For biomassegræs er anvendt DB-kalkuletal for fodergræs i omdrift, justeret for forskelle i mulig afsætningspris for henholdsvis biomassegræs og fodergræs. Der er ikke tilgængelige DB-kalkule-tal for biomassegræs med øget kvælstofindsats, hvorfor de viste tal kan være udtryk for et konservativt estimat af dækningsbidragsændringerne.

Tabel 8.3. Ændring i dækningsbidrag på afgrødetypeniveau ved omlægning fra konventionelle afgrøder til økologisk kløvergræs til bioraffinering (Scenario 3).

| | Vårkorn -> biomassegræs, kr./ha | Vinterbyg -> biomassegræs, kr./ha | Vinterhvede -> biomassegræs, kr./ha | Vinterraps -> biomassegræs, kr./ha | Majs-> biomassegræs, kr./ha |
|----------|---------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------|
| mHUGsand | 1.456 | 1.574 | 1.267 | 1.289 | -1.028 |
| uHUGsand | 568 | 776 | 698 | 690 | -1.161 |
| mHUGler | 362 | 122 | -1.514 | -879 | -916 |
| uHUGler | -466 | -562 | -1.825 | -1.356 | -1.193 |

Note: Dækningsbidrag for konventionel vårbyg er benyttet som udtryk for alle vårkornsmarker. For økologisk biomassegræs er der anvendt DB-kalkuletal for konventionel fodergræs i omdrift, justeret for omkostningsforskelle i økologisk og konventionel græsproduktion og for forskelle i mulig afsætningspris for henholdsvis biomassegræs og fodergræs.

Tabel 8.4. Ændring i dækningsbidrag på afgrødetypeniveau ved omlægning til energipil (Scenario 4). Dækningsbidrag for konventionel vårbyg er benyttet som udtryk for alle vårkornsmarker.

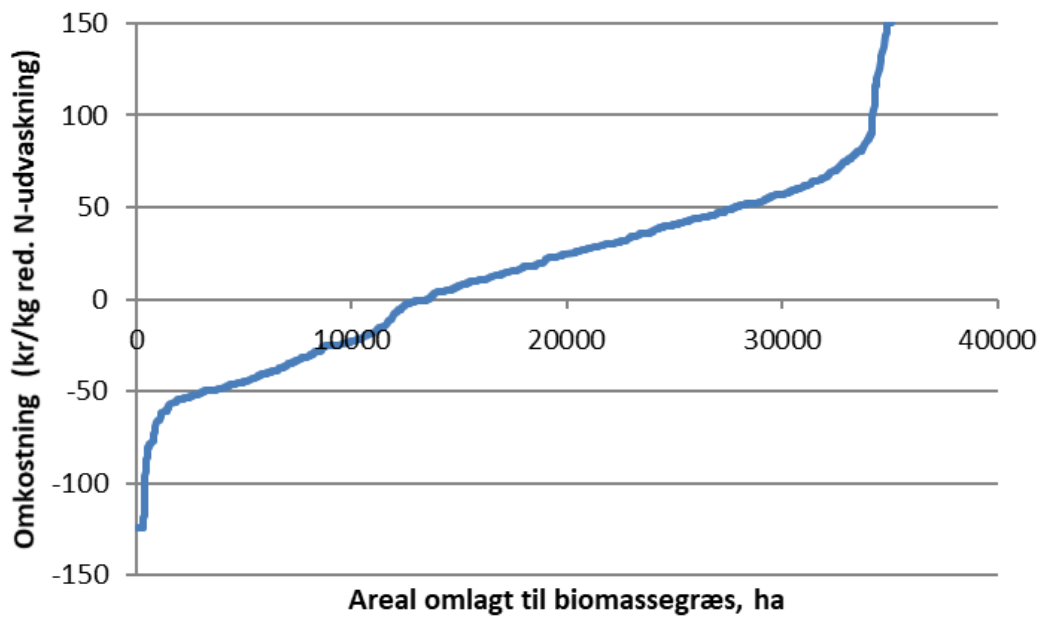
| | Vårkorn -> biomassepil, kr./ha | Vinterbyg -> biomassepil, kr./ha | Vinterhvede -> biomassepil, kr./ha | Vinterraps -> biomassepil, kr./ha | Majs-> biomassepil, kr./ha |
|----------|--------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------|
| mHUGsand | -107 | 11 | -296 | -274 | -2.591 |
| uHUGsand | 552 | 760 | 682 | 674 | -1.177 |
| mHUGler | -1.210 | -1.450 | -3.086 | -2.452 | -2.488 |
| uHUGler | -527 | -623 | -1.885 | -1.416 | -1.253 |

Note: Bemærk, pil antages jf. noten til Tabel 7.4 kun at dyrkes uden husdyrgødning. Derfor er omlægning fra et kornsædskifte med husdyrgødning til pil relativt ufordelagtig.

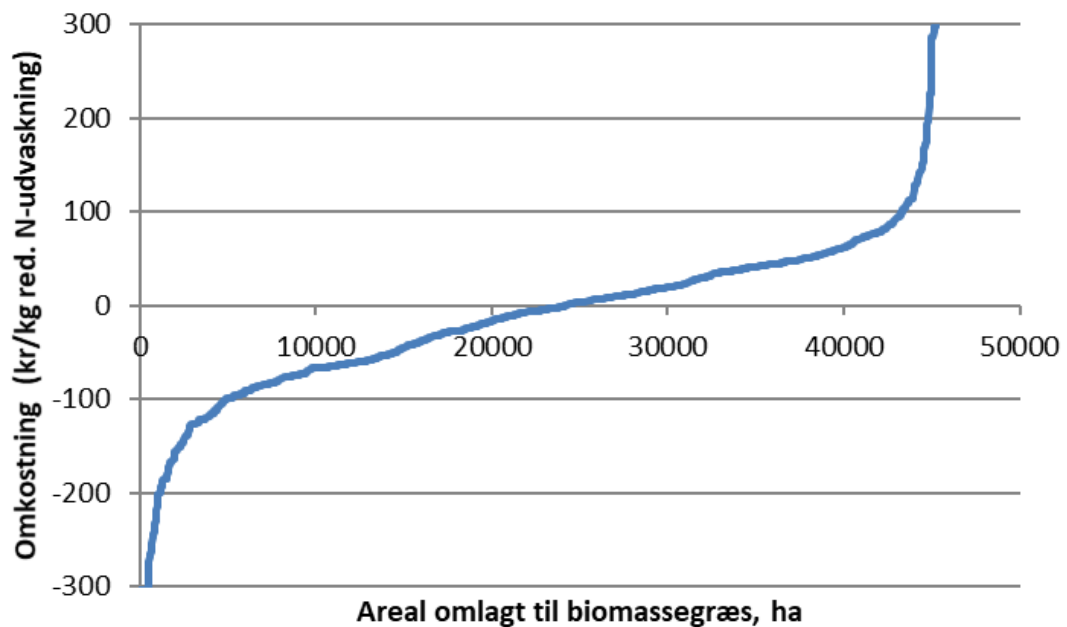
For de biomasseoptimerede scenarier fandtes både mindre og øgede udgifter pr. kg N-reduktion i udledning til fjordene med en overvægt til øgede udgifter (Figur 8.1-8.2). Dette gælder især når reduktionen målrettes kystudvaskningen (Figur 8.1), hvor der på ca. 1/3 af arealet opnås en gevinst ved omlægningen (dvs. en negativ omkostning i kr. per kg reduceret N-udvaskning), mens der på ca. 2/3 af det omlagte areal tillægges en større eller mindre omkostning. De S-formede kurver betyder således, at der på nogle relativt få arealer er enten en stor gevinst eller en stor omkostning, mens der på størstedelen

af arealet se en relativ mindre gevinst eller omkostning. Målrettes rodzoneudvaskningen (Figur 8.2) ses, at her er den andel af arealet, hvor der opnås hhv. gevinster eller tab, næsten lige store, men det totale areal, der skal til for at opnå den ønskede N-reduktion, jf. Figur 6.1 er større, hvis der målrettes rodzoneudvaskningen, end hvis der målrettes kystudvaskningen. Det samlede areal, hvor der forventes en nettoomkostning af omlægningen, er derfor nogenlunde lige store i de to situationer (Figur 8.1 og Figur 8.2).

Kurverne viser således sammenhængen mellem omlagt areal og marginal nettoomkostning pr. kg N-udvaskningsreduktion, når de omlagte arealer rangordnes efter denne marginalomkostning (med de "billigste" arealomlægninger længst til venstre). Den stigende tendens for kurven i figur 8.1 skyldes en kombination af, at højere målsætninger med hensyn til kystudvaskningsreduktion kræver omlægning af arealer med højere retention og omlægning af arealanvendelser, der i udgangspunktet har højere økonomisk afkast (dels i kraft af jordtype og dels i kraft af de sædskifter der dyrkes). I modsætning hertil skyldes den stigende tendens i figur 8.2 alene at forøgelse af arealomlægningen til biomassegræs i stigende grad vil ske på bekostning af nuværende arealanvendelser med højere økonomiske afkast. Som det ses, er omkostningerne per kg N reduceret generelt lavere ved at målrette kystudvaskningen (Figur 8.1, der viser omkostninger fra ca. -150 til +150 kr./kg reduceret N-udvaskning) end ved at målrette rodzoneudvaskningen (Figur 8.2, der viser omkostninger fra ca. -300 til +300 kr./kg reduceret N-udvaskning), men med et væsentlig større berørt areal på figur 8.2. end på figur 8.1; se også figur 6.1.

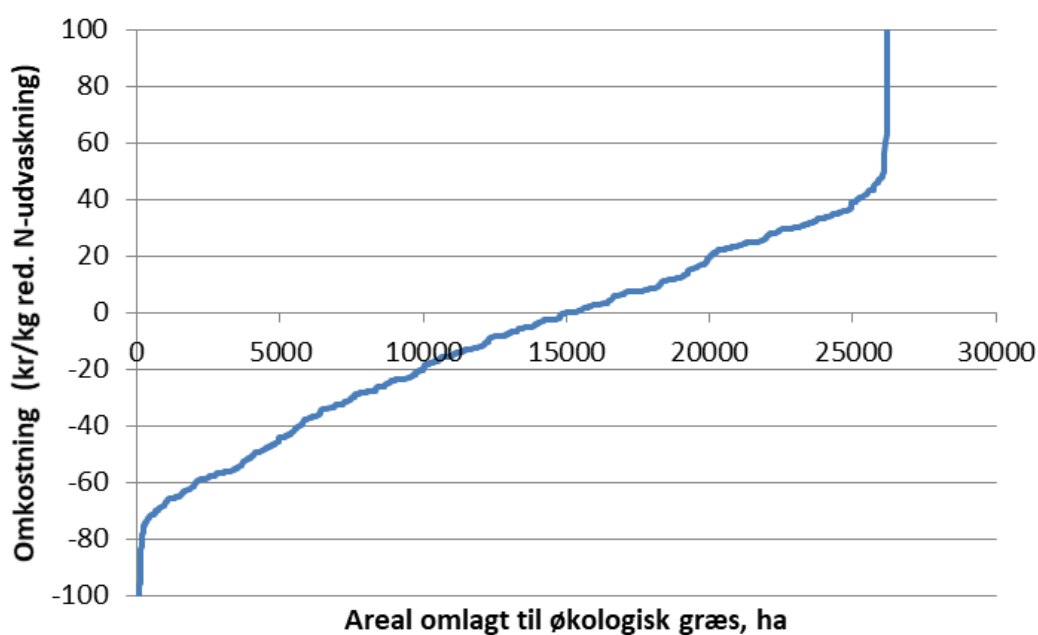


Figur 8.1. Fordeling af omkostning pr. kg N-udvaskningsreduktion for det Biomasseoptimerede Scenario (Scenario 2. Intensivt slætgræs - bioraffinering til protein- og kvægfoder samt biogas) målrettet kystudvaskningen.

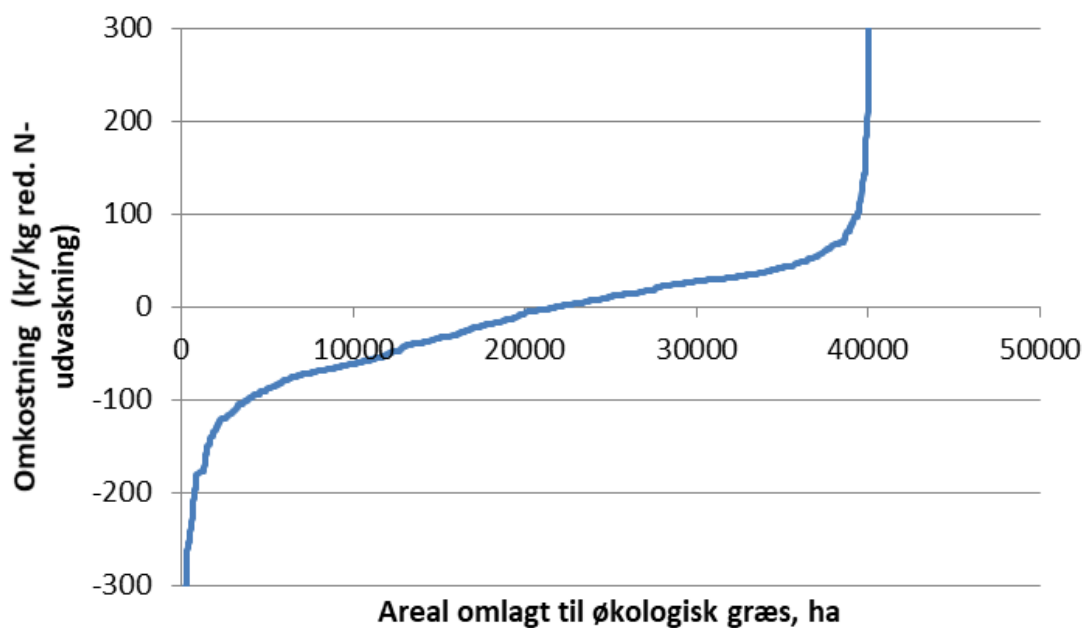


Figur 8.2. Fordeling af omkostning pr. kg N-udvaskningsreduktion for Biomasseoptimeret Scenario målrettet rodzoneudvaskning.

For de økologiske scenarier (Figur 8.3 og Figur 8.4) fandtes ligeledes både mindre og øgede udgifter pr. kg N-reduktion i udledning til fjordene, men der var en relativt større andel af arealet med en gevinst ved omlægningen (dvs. en negativ omkostning i kr. per kg reduceret N-udvaskning), end for de biomasseoptimerede scenarier med konventionelt landbrug (Figur 8.1-8.2). Det totale areal der omlægges er desuden mindre for de to økologiske scenarier end for de biomasseoptimerede scenarier med konventionelt landbrug (Se også Figur 6.1). Dog må det bemærkes, at disse omlægninger til økologisk, lavt gødgede kløvergræsarealer i praksis kan være vanskelige (eller omkostningstunge) at implementere optimalt, da der oftest vil være tale om arealer, der i dag drives konventionelt.

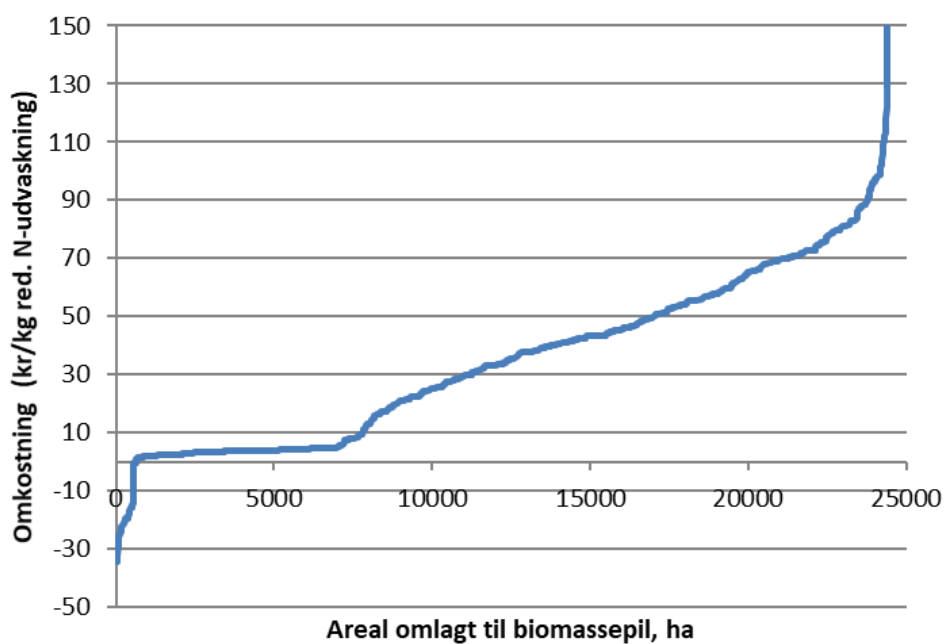


Figur 8.3. Fordeling af omkostning pr. kg N-udvaskningsreduktion for Økologisk Scenario (Scenario 3. Økologisk, Lavtgødet kløvergræs - bioraffinering til protein- og kvægfoder samt biogas) målrettet kyst-udvaskningen.

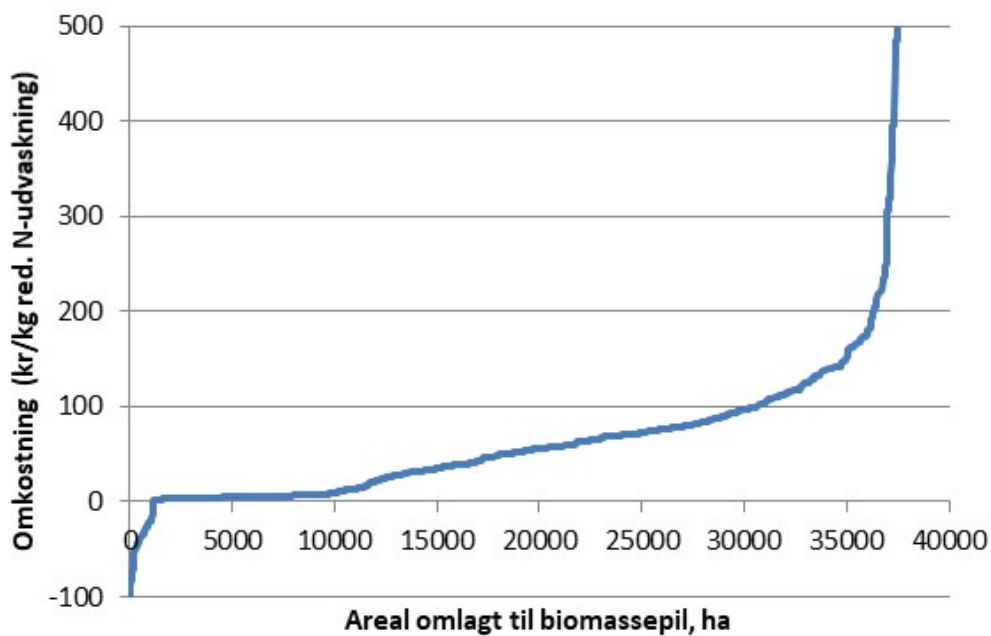


Figur 8.4. Fordeling af omkostning pr. kg N-udvaskningsreduktion for Økologisk Scenario (Scenario 3. Økologisk, Lavtgødet kløvergræs - bioraffinering til protein- og kvægfoder samt biogas) målrettet rodzoneudvaskningen.

For bioenergiscenarierne (Figur 8.5 og Figur 8.6) fandtes næsten udelukkende stigende omkostninger ved omlægning til energipil, og især i situationen målrettet rodzoneudvaskningen er der områder med en meget stor omkostning ift. de øvrige scenarier. Men samtidig er der også betydelige arealer, hvor omkostningen ved omlægning er meget begrænset, eller ligefrem for nogle få arealer med økonomisk gevinst ved omlægning (dvs. negativ omkostning i kr. per kg reduceret N-udvaskning).



Figur 8.5. Omkostningsfordeling for Bioenergiscenario (Scenario 4. Energipil - decentral kraftvarme eller biolieproduktion) målrettet kystudvaskningen.



Figur 8.6. Omkostningsfordeling for Bioenergiscenario (Scenario 4. Energipil - decentral kraftvarme eller biolieproduktion) målrettet rødzoneudvaskningen.

De angivne resultater kan sammenlignes med omkostningerne ved at reducere kvælstoftabet, som er angivet i virkemiddelkataloget fra 2014 (Eriksen et al., 2014), jævnfør tabel 8.5. Det fremgår her, at de vigtigste virkemidler har omkostninger på mellem 5 og 80 kr. pr. kg reduceret N-tab i rodzonen. Omregnet til kr. pr. kg reduceret N-tab til havmiljøet med en retention på fx 70%, så er omkostningen 17 til 266 kr. pr. kg N. Til sammenligningen er omkostningerne ved virkemidlerne i Fødevarer- og Landbrugspakken opgjort til ca. 19 kr. pr. kg N i rodzonen og 61 kr. pr. kg N i havmiljøet (Jacobsen, 2017). Såfremt et yderligere indsatsbehov skal dækkes vil omkostningerne være højere.

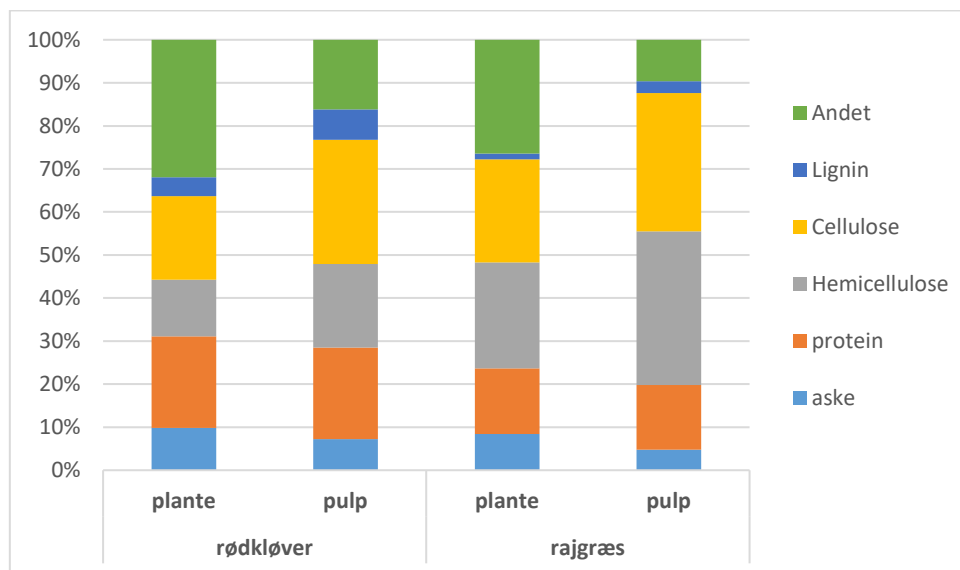
Tabel 8.5. Virkemidlernes effekt og budgetøkonomiske omkostninger ifølge Eriksen et al. (2014).

| Virkemiddel | N-effekt i rodzonen (kg N/ha) | Budgetøkonomisk omkostning (Kr./kg N i rodzonen) |
|---|-------------------------------|--|
| Efterafgrøder (uden sædskifteændringer) | 12-45 | 5-19 |
| Mellemafgrøder | 9-13 | 30 - 36 |
| Brak (ikke permanent) | 35-58 | 28 - 190 |
| Flerårige energifgrøder | 34-51 | -45 - 107 |
| Permanent udtagning | 50 | 69 - 83 |

Der er tidligere gennemført analyser af omkostningerne ved vandplanerne (Jacobsen & Dubgaard, 2012), der indikerer, at omkostningerne i vandplanerne udgør ca. 40 kr. pr. kg N målt i kystvande som gennemsnit af virkemidler. Det betyder, at selv de mindre positive resultater for omlægning til intensivt slætgræs eller til energipil i nærværende beregninger, er ganske konkurrencedygtige samfundsmæssigt i forhold til tidligere virkemidler til reduktion af nitratudvaskningen, når det drejer sig om den største del af arealerne. Dog skal stadig huskes, at en så optimal udvælgelse af arealer, som i denne analyse vil være vanskelig i praksis og dermed formentlig dyrere.

9 Effekter af ændringer i afgrødesammensætning på kvægfodring

Som vist i figur 9.1, indeholder fiberpulp mindre aske, samme andel protein og væsentligt mere fiber (lignin, cellulose og hemicellulose) end det friske plantemateriale. Andelen af "andet", der primært udgøres af let fordøjelige organiske stoffer, reduceres markant, hvilket skyldes at en betydende del vil indgå i juicefraktionen ved raffineringen. Ved den almindelige fodermiddelvurdering er in vitro fordøjeligheden i fiberpulp lidt lavere, ca. 4% enheder, end i plantematerialet.



Figur 9.1. Kemisk sammensætning af henholdsvis plantematerialet og fiberpulpen afhængig af græsblandingen, enten rødkløver i blanding med rajgræs eller ren rajgræs. Baseret på Hermansen et al. (2017).

Det er tidligere vist i produktionsforsøg med højtydende malkekøer, at fiberpulp fuldt kan erstatte græsensilage, endda med tendens til højere optag (TS) og højere ydelse (kg EKM) (Weisbjerg, 2017), hvilket antyder at foderværdier af fiberpulp er højere end bestemt ud fra traditionel fodermiddelvurdering. Årsagen hertil kan være, at den kraftige mekaniske behandling øger tilgængeligheden til fiberfraktionen og derfor øger nedbrydningshastigheden i vommen.

9.1 Fiberpulp som erstatning for majsensilage

I dette notat er udgangspunktet at erstatte majs med græs på kvægbedrifterne for at reducere udvaskningen af kvælstof i marken. Derfor vil det ændre foderrationerne til at indeholde mindre majsensilage og mere fiberpulp. Der foreligger ikke resultater fra forsøg, som har set på erstatning af majsensilage med fiberpulp, hvorfor en vurdering heraf er foretaget ud fra beregninger i foderplanlægningsmodellen Norfor (<http://www.norfor.info/about-norfor/the-model/>). Fiberpulp antages at have en næringsstofsammensætning som fundet af Weisbjerg (2017), og de ernæringsmæssige egenskaber i forhold til omsætning i dyret som defineret for græsensilage i NorFor. Foderrationen er beregnet til lakterende

køer af tunge racer med en årsydelse på 10.000 kg energi korrigeret mælk (EKM), svarende til gennemsnit af dansk malkekvæg.

Udgangspunkt er ration I) standard med 50% græsensilage og 50% majsensilage som grovfoder. Herefter enten II) 50% eller III) 100% af majsensilage erstattet med fiberpulp, og til sidst IV) en ration hvor sojaskrå er erstattet af grøn protein.

Sojaskrå er gradvis erstattet med korn i II) og III) for at reducere proteinoptaget, men ikke mere end at den beregnede forsyning med aminosyrer (AAT til mælk) kun marginalt kommer under de fastsatte minimumsgrænser. Ved ration IV) er der ikke inddraget hensyn til næringsstofforsyning.

Tabel 9.1. De fire forskellige foderrationer analyseret.

I) Standard

II) 50 % fiber

| | | | Malkende | | | | | | Malkende | | |
|----------------------------|-------|---------------|----------|------------|------|----------------------------|-------|---------------|----------|------------|------|
| Tildeling pr. dyr pr. dag | | | Malk | | | Tildeling pr. dyr pr. dag | | | Malk | | |
| Fodermiddel | Enhed | Øre/kg | Min | Tildelt | Maks | Fodermiddel | Enhed | Øre/kg | Min | Tildelt | Maks |
| Vårbyg | Kg TS | 95,0 | 4,0 | 4,0 | 4,0 | Vårbyg | Kg TS | 95,0 | 4,5 | 4,5 | 4,5 |
| Sojaskråfoder | Kg TS | 755,8 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | Sojaskråfoder | Kg TS | 755,8 | 2,5 | 2,5 | 2,5 |
| Roepiller, umelasseret | Kg TS | 110,0 | 0 | 0 | 0 | Roepiller, umelasseret | Kg TS | 110,0 | 0 | 0 | 0 |
| Grøn protein | Kg TS | 11,8 | 0 | 0 | 0 | Grøn protein | Kg TS | 11,8 | 0 | 0 | 0 |
| Kløvergræsens., middel F | Kg TS | 22,3 | 7,0 | 7,0 | 7,0 | Kløvergræsens., middel F | Kg TS | 22,3 | 7,0 | 7,0 | 7,0 |
| Fiber - pulp | Kg TS | 23,1 | 0 | 0 | 0 | Fiber - pulp | Kg TS | 23,1 | 3,5 | 3,5 | 3,5 |
| Majsensilage, høj FK | Kg TS | 22,4 | 7,0 | 7,0 | 7,0 | Majsensilage, høj FK | Kg TS | 22,4 | 3,5 | 3,5 | 3,5 |
| Lipitec Bovi LM, mættet fe | Kg TS | 3771,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | Lipitec Bovi LM, mættet fe | Kg TS | 3771,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 |

| Rationsparameter | Enhed | Opt. | Min | Tildelt | Maks | Rationsparameter | Enhed | Opt. | Min | Tildelt | Maks |
|----------------------|----------|-------------------------------------|-------|-------------|-------|----------------------|----------|-------------------------------------|-------|-------------|-------|
| Foderoptagelse | kg TS/d | <input type="checkbox"/> | | 21,5 | | Foderoptagelse | kg TS/d | <input type="checkbox"/> | | 21,5 | |
| Energioptagelse | MJ/dag | <input type="checkbox"/> | | 150,6 | | Energioptagelse | MJ/dag | <input type="checkbox"/> | | 147,1 | |
| Forventet EKM-ydelse | kg/dag | <input type="checkbox"/> | | 34,5 | | Forventet EKM-ydelse | kg/dag | <input type="checkbox"/> | | 33,4 | |
| Energi | MJ/kg T | <input type="checkbox"/> | | 7,00 | | Energi | MJ/kg T | <input type="checkbox"/> | | 6,84 | |
| Energibalance | % | <input checked="" type="checkbox"/> | 100,0 | 99,1 | 101,0 | Energibalance | % | <input checked="" type="checkbox"/> | 100,0 | 96,8 | 101,0 |
| Råprotein i alt | g/dag | <input checked="" type="checkbox"/> | | 3352 | | Råprotein i alt | g/dag | <input type="checkbox"/> | | 3482 | |
| AAT til mælk | g/MJ | <input checked="" type="checkbox"/> | 15,0 | 15,4 | | AAT til mælk | g/MJ | <input checked="" type="checkbox"/> | 15,0 | 15,1 | |
| PBV | g/kg TS | <input type="checkbox"/> | 10 | 9 | 40 | PBV | g/kg TS | <input type="checkbox"/> | 10 | 15 | 40 |
| Fedtsyrer | g/kg TS | <input checked="" type="checkbox"/> | 20 | 40 | 45 | Fedtsyrer | g/kg TS | <input checked="" type="checkbox"/> | 20 | 40 | 45 |
| NDF | g/kg TS | <input type="checkbox"/> | | 309 | | NDF | g/kg TS | <input type="checkbox"/> | | 332 | |
| Stivelse | g/kg TS | <input type="checkbox"/> | | 239 | | Stivelse | g/kg TS | <input type="checkbox"/> | | 197 | |
| Vombelastning | Ingen en | <input type="checkbox"/> | | 0,58 | 0,60 | Vombelastning | Ingen en | <input type="checkbox"/> | | 0,50 | 0,60 |
| Tyggetid | min./kg | <input type="checkbox"/> | 32 | 35 | | Tyggetid | min./kg | <input type="checkbox"/> | 32 | 39 | |
| Fylde i alt | FV | <input checked="" type="checkbox"/> | 8,22 | 8,19 | 8,47 | Fylde i alt | FV | <input checked="" type="checkbox"/> | 8,22 | 8,28 | 8,47 |

III) 100 % fiber

IV) 100 % fiber + grøn protein

| | | | Malkende | | | | | | Malkende | | |
|----------------------------|-------|---------------|----------|------------|------|----------------------------|-------|---------------|----------|------------|------|
| Tildeling pr. dyr pr. dag | | | Malk | | | Tildeling pr. dyr pr. dag | | | Malk | | |
| Fodermiddel | Enhed | Øre/kg | Min | Tildelt | Maks | Fodermiddel | Enhed | Øre/kg | Min | Tildelt | Maks |
| Vårbyg | Kg TS | 95,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | Vårbyg | Kg TS | 95,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 |
| Sojaskråfoder | Kg TS | 755,8 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | Sojaskråfoder | Kg TS | 755,8 | 0 | 0 | 0 |
| Roepiller, umelasseret | Kg TS | 110,0 | 0 | 0 | 0 | Roepiller, umelasseret | Kg TS | 110,0 | 0 | 0 | 0 |
| Grøn protein | Kg TS | 11,8 | 0 | 0 | 0 | Grøn protein | Kg TS | 11,8 | 2,0 | 2,0 | 2,0 |
| Kløvergræsens., middel F | Kg TS | 22,3 | 7,0 | 7,0 | 7,0 | Kløvergræsens., middel F | Kg TS | 22,3 | 7,0 | 7,0 | 7,0 |
| Fiber - pulp | Kg TS | 23,1 | 7,0 | 7,0 | 7,0 | Fiber - pulp | Kg TS | 23,1 | 7,0 | 7,0 | 7,0 |
| Majsensilage, høj FK | Kg TS | 22,4 | 0 | 0 | 0 | Majsensilage, høj FK | Kg TS | 22,4 | 0 | 0 | 0 |
| Lipitec Bovi LM, mættet fe | Kg TS | 3771,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | Lipitec Bovi LM, mættet fe | Kg TS | 3771,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 |

| Rationsparameter | Enhed | Opt. | Min | Tildelt | Maks | Rationsparameter | Enhed | Opt. | Min | Tildelt | Maks |
|----------------------|----------|-------------------------------------|-------|-------------|-------|----------------------|----------|-------------------------------------|-------|-------------|-------|
| Foderoptagelse | kg TS/d | <input type="checkbox"/> | | 21,5 | | Foderoptagelse | kg TS/d | <input type="checkbox"/> | | 21,5 | |
| Energioptagelse | MJ/dag | <input type="checkbox"/> | | 143,6 | | Energioptagelse | MJ/dag | <input type="checkbox"/> | | 140,4 | |
| Forventet EKM-ydelse | kg/dag | <input type="checkbox"/> | | 32,3 | | Forventet EKM-ydelse | kg/dag | <input type="checkbox"/> | | 31,3 | |
| Energi | MJ/kg T | <input type="checkbox"/> | | 6,68 | | Energi | MJ/kg T | <input type="checkbox"/> | | 6,53 | |
| Energibalance | % | <input checked="" type="checkbox"/> | 100,0 | 94,5 | 101,0 | Energibalance | % | <input checked="" type="checkbox"/> | 100,0 | 92,4 | 101,0 |
| Råprotein i alt | g/dag | <input type="checkbox"/> | | 3611 | | Råprotein i alt | g/dag | <input type="checkbox"/> | | 3305 | |
| AAT til mælk | g/MJ | <input checked="" type="checkbox"/> | 15,0 | 14,5 | | AAT til mælk | g/MJ | <input checked="" type="checkbox"/> | 15,0 | 12,4 | |
| PBV | g/kg TS | <input type="checkbox"/> | 10 | 23 | 40 | PBV | g/kg TS | <input type="checkbox"/> | 10 | 18 | 40 |
| Fedtsyrer | g/kg TS | <input checked="" type="checkbox"/> | 20 | 41 | 45 | Fedtsyrer | g/kg TS | <input checked="" type="checkbox"/> | 20 | 41 | 45 |
| NDF | g/kg TS | <input type="checkbox"/> | | 355 | | NDF | g/kg TS | <input type="checkbox"/> | | 375 | |
| Stivelse | g/kg TS | <input type="checkbox"/> | | 156 | | Stivelse | g/kg TS | <input type="checkbox"/> | | 152 | |
| Vombelastning | Ingen en | <input type="checkbox"/> | | 0,43 | 0,60 | Vombelastning | Ingen en | <input type="checkbox"/> | | 0,40 | 0,60 |
| Tyggetid | min./kg | <input type="checkbox"/> | 32 | 44 | | Tyggetid | min./kg | <input type="checkbox"/> | 32 | 48 | |
| Fylde i alt | FV | <input checked="" type="checkbox"/> | 8,22 | 8,34 | 8,47 | Fylde i alt | FV | <input checked="" type="checkbox"/> | 8,22 | 8,76 | 8,47 |

Ud fra Norfors fodervurdering har majsensilage et højere energiindhold end fiberpulp, hvorfor der kan forventes lavere energioptag (7 MJ NE fra ration I) til III) når der tages udgangspunkt i samme tørstofoptag og en udskiftning af 1 kg TS sojaskrå med 1 kg TS i byg. I forsøgene med erstatning af græsensilage med fiberpulp (Weisbjerg, 2017) var optagelse af fiberpulp rationen dog ca. 0,5 kg TS højere end forventet ud fra fodermiddelvurderingen. Såfremt dette også gælder ved erstatning for majsensilage, vil nedgangen i energioptaget blive halveret. Øvrige næringsstoffer er fint inden for de opstillede grænser, dog er AAT forsyning i ration III) 3% under det krævede. Betydningen heraf kræver en yderligere indsats for at fastsætte den reelle proteinværdi af fiberpulp, som i disse beregninger er bestemt ud fra nedbrydningsgrader mv. som for græsensilage. Kendskab hertil vil også kunne medvirke til at reducere optaget af protein som stiger fra 15,6% af tørstoffet i I) til 16,6% i III) for at fastholde aminosyreforsyningen.

Den beregnede mælkeproduktion falder fra 34,5 kg EKM i ration I) til 32,3 kg EKM i ration III) som en direkte konsekvens af det lavere energioptag. Denne nedgang vil blive reduceret, såfremt der reelt bliver et højere optag som fundet af Weisbjerg (2017), der fandt at foderværdien af fiberpulp sammen med majsensilage var undervurderet. Såfremt det også er gældende i rationer uden majsensilage, vil det yderligere reducere forskellen i ydelsen mellem standard rationen I) og ration II) og III).

9.2 Grønt protein som erstatning for soja/rapskage

Som udgangspunkt er den grønne protein tænkt som erstatning for protein til en-mavede dyr, men der er også et potentiale for anvendelse til kvæg – specielt i tilfælde af, at der produceres non-GM mælk – hvor grøn protein vil kunne sikre en ration baseret udelukkende på danske afgrøder. Som det fremgår af ration IV) vil en ombytning af sojaskrå med grønt protein af den nuværende kvalitet reducere energiforsyningen og betyde en forsyning med AAT betydeligt under de opstillede minimumsgrænser, hvilket medvirker til en reduktion i ydelse til 31,3 kg EKM. I beregninger er proteinkoncentrationen i grønt protein 33% af TS som fundet af Weisbjerg (2017), hvilket er væsentligt lavere end de teoretiske forventninger på 47% i Hermansen et al. (2017). Grønt protein med dette lave indhold vil sandsynligvis bedre kunne erstatte sojaskrå eller rapskage i kvægfodringen, dog afhængig af AAT værdien.

9.3 Ændringer i areal og miljø

Ud fra udbytter angivet af Hermansen et al. (2017) og en mælkeproduktion på 1 mio kg årligt, svarende til 100 køer, er det årlige areal med de enkelte afgrøder afhængig af de fire foderrationer i tabel 1 beregnet, se tabel 2. Det samlede areal til dyrkning af græs, majs og korn stiger fra 66,5 ha i ration I) til 74,4 ha i de to rationer med 100 % fiber pulp som erstatning for majs. Antages udelukkende grovfoderet – kløvergræs og fiberpulp – at være dyrket på bedriften er arealet derimod stort set uændret ved de anvendte udbytteforudsætninger, fra 42,1 til 44,8 ha årligt. Ved brug af 2 kg TS dagligt af grønt protein i en foderration svarer arealet stort set til det areal, som skal bruges til 7 kg TS i fiberpulp i foderrationen. Det samlede areal på 74,4 ha i ration IV) er således det samlede areal til produktion af 1 mio kg mælk, mens der i de tre øvrige rationer kommer et areal til dyrkning af proteinfoder (sojaskrå, rapskage eller

evt. hestebønner) uden for bedriften. Anvendelse af fiberpulp som erstatning for majsensilage vil således ikke afgørende ændre på arealbehovet til foderproduktion på kvægbedriften, idet det øgede kornforbrug kan dækkes ved indkøb.

Tabel 9.2. Areal (ha) til dækning af kørnes foderforsyning med grovfoder og korn, ved produktion af 1 mio. kg mælk ud fra fire forskellige foderrationer (se tabel 9.1).

| Afgørde | Udbytte Kg TS pr. ha | Foderration (ha) | | | |
|-----------------------|-------------------------|------------------|--------------------|----------------------|------------------------------------|
| | | Standard (I) | 50 % Fiber (II) | 100 % Fiber (III) | 100 % fiber + grøn protein (IV) |
| Kløvergræs | 11.500 | 22,5 | 22,5 | 22,5 | 22,5 |
| Majs | 13.200 | 19,6 | 9,8 | | |
| Korn | 6.100 | 24,4 | 27,0 | 29,6 | 29,6 |
| Fibergræs | 11.600 | | 11,2 | 22,3 | 22,3 |
| Proteinfraktion | 3.800 | | | | (20,7) |
| I alt, ha | | 66,5 | 70,5 | 74,4 | 74,4 |
| - heraf grovfoder, ha | | 42,1 | 43,5 | 44,8 | 44,8 |

Stigning i proteintildelingen fra ration I) til III) vil betyde en øget udskillelse af protein med gødningen på ca. 15 kg N per årsko, hvoraf den overvejende del vil være som urin N og dermed øge risikoen for fordampning i kæden frem til udbringning.

10 Sideeffekter på fosfortab, drivhusgasudledning, pesticidforbrug og biodiversitet

10.1 Fosfortab

Vedvarende græs vurderes at være en sikker og effektiv foranstaltning mod tab af fosfor ved erosion og overfladeafstrømning, fordi det kombinerer et effektivt afgrødedække med gode muligheder for infiltration af nedbøren i jorden og medfører dermed reduceret overfladetransport af vand og materiale. I femårige danske undersøgelser er der således ikke fundet erosion på græs (Poulsen & Rubæk, 2005). Man skal dog i de konkrete situationer også være opmærksom på, at den større infiltration og de forbedrede vilkår for dannelse af kontinuerede porer vil kunne medføre større fosfortab via nedsivning til dræn og grundvand. Og på arealer med ringe bindingskapacitet for P skal man være opmærksom på risikoen for overgødsning med P. Nogenlunde samme forhold forventes at gøre sig gældende for energipil.

10.2 Drivhusgasudledning

Der vil ved overgang fra korndyrkning til græs ske en hurtig opbygning af kulstof i jorden over de første par år, hvorefter raten vil falde og opbygningen vil være mere konstant (Olesen et al., 2016). Dette skyldes, at der især i de første år vil være en meget stor opbygning af kulstof i græssets rodsystem. Taghizadeh-Toosi og Olesen (2016) beregnede en årlig opbygning af kulstof i hele jordprofilen under produktiv græs på ca. 2 ton C/ha/år i de første to år efter omlægning, men dette aftog til en årlig opbygning på ca. 0,6 ton C/ha/år i de efterfølgende årtier. Den større opbygning af kulstof i jorden i de første par år er ikke permanent, da den primært består af letomsætteligt organisk materiale. Kulstoflagringen i almindelige produktive græsmarker kan derfor sættes til 0,6 ton C/ha/år. Den årlige opbygning af kulstof under græs vil kunne fortsætte over en meget lang periode (mere end 100 år), og det målte kulstofindhold under græs er typisk 50 til 100 % højere end for jord med enårig afgrøder i omdrift (Soussana et al., 2004). Olesen et al. (2013) vurderer, at kulstofopbygningen under energipil er lidt mindre end under græs.

Der vides kun lidt om effekten af græsmarkers sammensætning, gødsning og slætsystemer på kulstoflagringen. Den ovennævnte kulstoflagring vil formentlig være gældende for kløvergræs uanset gødningsniveau, hvorimod kulstoflagringen anslås at være lavere (det halve) ved et lavt gødningsniveau (under 200 kg N/ha) i rent græs, da produktionen her er mindre og dermed er tilbageførsel af kulstof til jorden også mindre (Olesen et al., 2016).

Udledningen af lattergas skyldes helt overvejende omsætningen af kvælstof i dyrkningsjorden, hvor handels- og husdyrgødning og omsætning af afgrøderester er direkte kilder til lattergasemission, mens ammoniaktab og udvasket N er indirekte kilder (Olesen et al., 2016). Omsætningen af afgrøderester er

en vigtig kilde til lattergas, og græsmarker opbygger en større rodbiomasse end vinterhvede og majs. Er der tale om flerårigt græs, vil det omvendt reducere det gennemsnitlige årlige bidrag.

Emissionen af lattergas for vinterhvede, majs, kløvergræs og rajgræs er i Olesen et al. (2016) beregnet for gødningsniveauer fra 0-575 kg N/ha. En ændring af arealanvendelsen fra korn eller majs til græs kan, ifølge denne opgørelse ved gødskning med 300 kg N/ha eller mere, føre til forøget lattergasemission. Hyppigheden af omlægning har, med den anvendte opgørelsesmetode, kun mindre indflydelse på den årlige emission.

Samlet set vurderer Olesen et al. (2016), at omlægning fra majs eller vinterhvede til græs vil have en positiv miljøeffekt, idet der opnås årlige nettoreduktioner på mellem 0,5 og 3,5 ton CO₂-ækv/ha afhængigt af gødningsniveau og alder på græsmarkerne.

10.3 Pesticidforbrug

Ved dyrkning af græs benyttes normalt yderst få pesticider uanset om der er tale om konventionel eller økologisk produktion. I 2011 var behandlingshyppigheden således 0,07 for konventionelle græsmarker, hvilket kan sammenlignes med gennemsnittet for det samlede konventionelle landbrugsareal på 3,18 (Miljøstyrelsen, 2012). Ved længere omdriftstid i græsset kan der opstå ukrudtsproblemer med fx kvik eller skræppe, hvilket dog oftest kan løses i forbindelse med pløjning og omlægning af græsarealerne.

10.4 Biodiversitet

Afgrødevalget på marken har betydning for biodiversiteten i og på jorden (Jørgensen et al., 2013). Flerårige afgrøder giver færre pløjninger og dermed mindre forstyrrelse i jorden, hvilket giver bedre betingelser for fx regnorme. Dyrkningsintensiteten vurderes også at have betydning, således at høj tilførsel af pesticider og gødskning kan reducere biodiversiteten (Pedroli et al., 2013). Det vurderes derfor, at den betydelige omlægning til græs i oplandet til Limfjorden vil bidrage til en let øget biodiversitet, specielt hvor der er tale om kløvergræs, der gødes i et mindre omfang.

Energipil kan også bidrage til at fremme biodiversiteten på landskabsniveau, idet mange insekter fou-ragerer på pilene. Særligt værdifuldt kan være plantning af hanpil, som vil være en pollenkilde til bier og andre insekter i det tidlige forår (Reddersen, 2001). Biodiversiteten vil fremmes af en variation i afgrødesammensætningen i et landskab (Jørgensen et al., 2013), hvilket kan være et argument for at iværksætte elementer fra flere af denne analyses scenarier.

11 Samlet diskussion af resultater

Denne analyses resultater viser, at der skal omlægges mellem 16 og 28% af landbrugsarealet i oplandet for at opnå den udskudte reduktion på 977 tons N i de analyserede fjorde. Størst omlægning vil kræves i det Biomasseoptimerede Scenario, mens mindst omlægning kræves for Bioenergiscenarioet. Ved at tage hensyn til retentionen i oplandet kræves 5-9% mindre arealomlægning, end hvis der alene udvælges efter udvaskning fra rodzonen. Majs er den afgrøde, hvoraf den største procentvise andel omlægges, fordi det er her den største reduktion i nitratudvaskning opnås.

Det er dog et problem, at stigningen i MFO-efterafgrøder i de senere år, og de kommende målrettede efterafgrøder, har været vanskelige at implementere i datagrundlaget, da vi alene har haft adgang til data på ID-15-niveau og ikke på bedriftsniveau. Vi har derfor også analyseret muligheden for at opfylde en målsætning på 1.316 tons N per år (frem for de 977 tons N per år), som inkluderer den forventede effekt fra skovrejsning, MFO og målrettet regulering frem mod 2021 (Miljø- og Fødevareministeriet, 2016). Når hele målsætningen for mark-relaterede virkemidler på denne måde inkluderes i omlægningsscenerierne, vil risikoen for overlap mellem virkemidler undgås. Resultatet af denne analyse viste, at det vil kræve yderligere 7-10% arealomlægning at nå dette højere mål (kun analyseret for det Økologiske Scenario). Det vurderes således samlet set teknisk muligt at opnå den fulde vandmiljømålsætning alene med omlægning til biomasseproduktion på ca. 1/4 af landbrugsarealet, hvis der udvælges efter maksimal effekt i fjordene, og hvis der vælges de mest udvaskningsreducerende biomasseproduktionssystemer.

Primærproduktion udgør den væsentligste omkostningskomponent i den grønne proteinkæde (ca. to tredjedele af bruttoomkostningerne). Der er en ikke ubetydelig år-til-år variation i omkostningerne til denne primærproduktion - for landbruget som helhed og på den enkelte bedrift, og det vil også give sig udslag i en variation i råvare-omkostningen til raffinaderiet. Dyrkning af mere højtydende græssorter kan bidrage til at reducere disse råvareomkostninger, og der kan evt. være visse besparelspotentialer i kombinationen af høst og transport til bioraffinaderiet, når kæden optimeres i større omfang (Hermansen et al., 2017).

Jordleje udgør 15-20 pct. af de samlede dyrkningsomkostninger til græs. I det omfang, dyrkning af biomasse kan ske på arealer, som ikke har anden lønsom anvendelse (fx som følge af miljømæssige begrænsninger) kan der ses bort fra denne del af dyrkningsomkostningerne, hvorved omkostningen pr. kg rent protein reduceres med ca. 1 kr. (Jensen & Gylling, 2018).

Transport er en anden væsentlig omkostningspost. Transportomkostningerne afhænger i sagens natur af de relevante transportafstande, og dette har en ikke uvæsentlig betydning for de samlede omkostninger, som det også fremgår af de ovennævnte følsomhedsberegninger. Det er således væsentligt, at

bioraffineringsanlæggene lokaliseres i geografiske områder, hvor der er korte afstande til leverandørerne og til aftagerne af pulpen. SEGES har således beregnet driftsøkonomien for en konkret lokalisering hos en landmand med både kvæg, svin og biogasanlæg, hvor der findes et positivt resultat, selvom ejendommen er konventionelt drevet (Jørgensen og Toft, 2018).

Det er i beregningerne forudsat, at det udvundne protein fra græs har en foderværdi svarende til protein fra sojaskrå. Resultater rapporteret i Hermansen et al. (2017) viser, at sammensætningen af aminosyrer er sammenlignelig i de to typer protein. Det vurderes på den baggrund rimeligt at antage, at det udvundne protein fra græs kan erstatte sojaprotein som fodermiddel, idet Hermansen et al. (2017) dog påpeger et behov for yderligere forskning i effekten af et sådant skift på produktiviteten.

Værdien af pulpen er en afgørende post i forhold til økonomien i den grønne værdikæde. I beregningerne er det antaget, at foderenheder i pulpen har samme foderværdi - og dermed økonomiske værdi - som græs. Der er dog foreløbige forskningsresultater, som tyder på en højere foderværdi i pulpen, og dermed at den anvendte værdiansættelse kan være udtryk for et underkantskøn. Der udestår imidlertid et behov for yderligere dokumentation heraf.

Fodring med fiberpulp til kvæg kan ud fra foreløbige ernæringsmæssige overvejelser anvendes som hel eller delvis erstatning for majsensilage og evt. også for græsensilage i staldfodringen. De helt præcise effekter på fodring, mælkeudbytte, arealforbrug m.m. vil kræve yderligere test og forsøg. I forhold til traditionel græsensilage kan der forventes en udfordring i at sikre rettidig høst og ikke mindst ensilering, da fiberpulp meget hurtigt vil begynde en forgæring, som vil reducere foderværdien. Derfor må der arbejdes med en logistik, der sikrer en rettidig høst i forhold til foderværdien, og ikke mindst en kort tid fra raffinering til ensilering er afsluttet.

Selve raffineringprocessen udgør ca. 15-20 pct. af omkostningerne. Da teknologien til raffinering af græs må anses for at være forholdsvis umoden i fuld skala, må der formodes at være et potentiale for omkostningsreduktioner i takt med modning af teknologien og skaløkonomi i fremstillingen af inventar til bioraffinaderier.

I de gennemførte økonomivurderinger er der ikke direkte indregnet værdi af positive eller negative eksternaliteter, som eksempelvis reduceret pesticidanvendelse, reduceret klimabelastning som følge af biogasproduktion, miljø- og klimabelastning i forbindelse med biomassetransport, næringsstofbelastning fra spredning af brunsaft på marker osv. Dog er der for så vidt angår kvælstofbelastning taget hensyn til, at en del af de potentielle biomassearealer alternativt ikke ville kunne anvendes til landbrugsproduktion på grund af kommende miljøkrav.

De gennemførte beregninger medtager ikke tilskud og afgifter i opgørelsen af gevinster og omkostninger. Det må imidlertid formodes at evt. etablering af sådanne tilskud og afgifter (evt. i forbindelse med den kommende revision af den europæiske landbrugspolitik (CAP)) vil have væsentlig betydning for

landmænds og øvrige investorers økonomiske incitamenter til at etablere og drive bioraffinaderier til produktion af højværdiprotein til svine- og fjerkræfoder.

De økonomiske beregninger tyder på, at økologisk grøn protein er økonomisk konkurrencedygtig med økologisk sojaprotein, og for non-GM grøn protein synes økonomisk konkurrencedygtighed også at være inden for rækkevidde. Derimod vurderes det med de opstillede forudsætninger at være vanskeligere at gøre konventionel grøn protein økonomisk konkurrencedygtig med konventionel sojaskrå.

Selvom den økonomiske analyse for produktion af energipil var mindst fordelagtig, så var omkostningen per kg N reduceret i havmiljøet for de fleste arealer under 100 kr/kg N og for en betydelig del af arealet tæt på 0 kr/kg N (Figur 8.5 og 8.6). Det vil sige, at omlægning til energipil kan være et ganske konkurrencedygtigt N-virkemiddel sammenlignet med andre virkemidler (omkostning i gennemsnit 61 kr/kg N i Landbrugspakken). Endvidere må det antages, at anvendelse af husdyrgødning på energipil vil forbedre driftsøkonomien i forhold til beregningerne i denne rapport, hvor der alene er antaget anvendelse af handelsgødning. Som nævnt i afsnit 6, forventes der alene at kunne anvendes fiberpulp til kvægfodring fra ca. 19.000 ha nyt græsareal i oplandene, og ved fuld målopfyldelse med omlægning til græs vil overskydende fiberpulp skulle eksporteres fra området eller udnyttes til fx biogas. Samlet set betyder det, at det kan blive relevant at implementere elementer fra flere af de analyserede scenarier i oplandene for at udnytte ressourcerne optimalt. Fx kan energipil implementeres lokalt, hvor der findes decentral kraftvarme baseret på biomasse.

En række forhold taler for, at der kan være muligheder for at forbedre økonomien i værdikæden for dyrkning og raffinering af græs og kløver i takt med at bioraffinerings teknologien modnes, ligesom optimering af anlæggenes lokalisering i forhold til biomassen kan bidrage til at reducere transportomkostningerne og dermed værdikædens samlede omkostninger. Det er således værdifuldt, at der vil blive igangsat yderligere udvikling og demonstration fx via det nylige udbud fra GUDP (2018).

12 Usikkerheder og behov for opfølgning

Der er en række usikkerheder ved de gennemførte analyser, som bør undersøges nærmere inden fuld implementering af de analyserede muligheder for omlægning til biomasseproduktion og bioraffinering til nye produkter. Det udelukker ikke, at projekter i mindre omfang kan sættes i gang i området netop for at få mere valid dokumentation for omkostninger, miljøeffekter og praktiske muligheder for implementering af så radikale ændringer i afgrødesammensætning og driftsstruktur. Der kan særligt peges på følgende usikkerheder:

- Analyser i Loop-oplande har indikeret, at der er MFO-efterafgrøder på ca. 10% af det eksisterende omdriftsareal, selvom lovkravet er betydeligt mindre (Blicher-Mathiesen et al., 2016). Vores analyser indikerer dog, at MFO-efterafgrøder dækkes af allerede eksisterende afgrøder. Det er vigtigt at få valide data herfor ind i analysen af, hvor stor effekt, der vil opnås ved omlægning til biomasseproduktion.
- Ved omlægning af enårige afgrøder til flerårige vil der ske en reduktion i det pligtige efterafgrødeareal, og det skal overvejes om dette kan og skal opretholdes på anden vis.
- Hvilke effekter vil det give i den samlede planteproduktion, hvis der dyrkes mindre sædskiftegræs og til gengæld mere græs med lang omdrift i græs-efter-græs sædskifter?
- Er de langsigtede effekter på nitratudvaskning ved øget dyrkning af græs-efter-græs godt nok beskrevet med den nuværende N-LES4 model? Der bør igangsættes forsøg, der specifikt sikrer data til denne vurdering.
- N-LES4 modellen er baseret på et forholdsvis begrænset datasæt for majs, som er en væsentlig afgrøde til omlægning i denne analyse. Der bør derfor fokuseres på at styrke baggrunden for majsudvaskningsberegning i den kommende N-LES5 model.
- Hvordan udpeges de mest effektive arealer til omlægning i praksis? Det kan blive svært at gennemføre ligeså effektivt som i nærværende analyse, hvor vi har gennemført en optimeret selektion af arealer på markniveau.
- Vurderet på bedriftsniveau er der kun få bedriftstyper med positiv økonomi ved omlægning, hvorfor de bedriftsmæssige konsekvenser ved delvis udtagning (ændret sædskifte, lavere selvforsyning med korn, lavere kapacitetsudnyttelse af maskiner og arbejdskraft mv.) bør undersøges nærmere.
- Hvor effektivt kan bioraffineringsprocessen gennemføres, og hvor retvisende er de benyttede effektivitetstal og dermed de økonomiske beregninger?
- Hvordan vil prissætning blive for de nye produkter? Vil der kunne opnås en merpris som følge af den gode miljøprofil og den lokale produktion?

13 Referencer

- Beck UR, Dalgaard T, Jensen JD & Källström MN, 2017. Regulering af landbrugets kvælstofudledninger. Data, metode, antagelser og resultater bag en analyse af de samfundsøkonomiske omkostninger ved forskellige reguleringsmekanismer for landbrugets udledning af kvælstof til Danmarks kystnære farvande. Baggrund for kapitlet om regulering af landbrugets kvælstofudledning i Økonomi og Miljø 2017 (De Økonomiske Råd).
- Blicher-Mathiesen G, Rasmussen A, Rolighed J, Andersen HE, Carstensen MV, Jensen PG, Wienke J, Hansen B, Thorling L, 2016. Landovervågningsoplände 2015: NOVANA. Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 205, 171 s.
- Børgesen CD, Kristensen IT, Grant R, 2009. Landbrugsregisterdata anvendt i regionale og landsdækkende beregninger af N og P tab. Børgesen CD, Waagepetersen J, Iversen TM, Grant R, Jacobsen BH, Elmholdt S, red. I Midtvejsevaluering af vandmiljøplan III: Hoved- og baggrundsnotater. Aarhus Universitet, Det Jordbrugsvidenskabelige Fakultet, DJF Rapport Markbrug Nr. 142, s. 77-96.
- Børgesen CD, Jensen PN, Blicher-Mathiesen G, Schelde K, Grant R, Vinther FP, Thomsen IK, Hansen EM, Kristensen IT, Sørensen P, Poulsen HD, 2013. Udviklingen i kvælstofudvaskning og næringsstofoverskud fra dansk landbrug for perioden 2007-2011. Evaluering af implementerede virkemidler til reduktion af kvælstofudvaskning samt en fremskrivning af planlagte virkemidlers effekt frem til 2015. DCA Rapport Nr. 31, 153 s.
- Børgesen CD, Thomsen IK, Hansen EM, Kristensen IT, Blicher-Mathiesen G, Rolighed J, Jensen PN, Olesen JE, Eriksen J, 2015. Notat om tilbagerulning af tre generelle krav, Normreduktion, Obligatoriske efterafgrøder og Forbud mod jordbearbejdning i efteråret. DCA og DCE Nr. 1554006. 51 s.
- Cong R, Termansen M, 2016. A bio-economic analysis of a sustainable agricultural transition using green biorefinery. *Science of the Total Environment*. 571:153-163.
- Dalgaard T, Hansen B, Hasler B, Hertel O, Hutchings N, Jacobsen BH, Jensen LS, Kronvang B, Olesen JE, Schjørring JK, Kristensen IS, Graversgaard M, Termansen M, Vejre H, 2014. Policies for agricultural nitrogen management - trends, challenges and prospects for improved efficiency in Denmark. *Environmental Research Letters* 9, 115002, 16 s.
- Danmarks Statistik. 2017. Økonomien i jordbrugets produktionsgrene.
- Dubgaard A, Laugesen FM, Ståhl L, Bang JR, Schou E, Jacobsen BH, Ørum JE, Jensen JD, 2013. Analyse af omkostningseffektiviteten ved drivhusgasreducerende tiltag i relation til landbruget. Frederiksberg: Institut for Fødevarer- og Ressourceøkonomi, Københavns Universitet. IFRO Rapport, Nr. 22.
- Eriksen J, Jensen PN, Jacobsen BH (redaktører), 2014. Virkemidler til realisering af 2. generations vandplaner og målrettet arealregulering. Rapport udarbejdet af DCE, DCA og IFRO. DCA rapport 52, 327 s.
- Farmtal-Online, diverse budgetkalkuler.
- Fog E, Thierry AM, 2016. Er der økonomi i at udvinde protein fra græs gennem bioraffinering? Landbrugsinfo.
- Fødevarer og Landbrugspakken 2015. Aftaletekst se: <https://mfvm.dk/landbrug/vaekst-eksport-og-arbejdspladser/foedevare-og-landbrugspakke/>
- GUDP, 2018. Fremme af grøn bioraffinering, www.gudp.dk

Gylling M, Jørgensen U, Bentsen NS, Kristensen IT, Dalgaard T, Felby C, Johannsen VK, 2013. The +10 Million Tonnes Study: Increasing the sustainable production of biomass for biorefineries. Fødevarøkonomisk Institut, Københavns Universitet, 31 s.

Gylling M, Jørgensen U, Bentsen NS, Kristensen IT, Dalgaard T, Felby C, Larsen S, Johannsen VK, 2016. The +10 Million Tonnes Study: Increasing the sustainable production of biomass for biorefineries. Updated Edition 2016. Fødevarøkonomisk Institut, Københavns Universitet, 40 s.

Hashemi F, Olesen JE, Hansen AL, Børgesen CD, Dalgaard T, 2018. Spatially differentiated strategies for reducing nitrate loads from agriculture in two Danish catchments. *Journal of Environmental Management*, 208, 77-91.

Hasler B, Hansen LB, Andersen HE, Konrad M, 2015. Modellering af omkostningseffektive reduktion af kvælstof-tilførslerne til Limfjorden. Dokumentation af model og resultater. Notat fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi. 17. februar 2015.

Hermansen JE, Jørgensen U, Lærke PE, Manevski K, Boelt B, Jensen SK, Weisbjerg MR, Dalsgaard TK, Danielsen M, Asp T, Ambye-Jensen M, Sørensen CAG, Jensen MV, Gylling M, Lindedam J, Lübeck M, Fog E, 2017. Green biomass - protein production through bio-refining. DCA Rapport, Nr. 93, 72 s.

Høgh-Jensen H, Loges R, Jensen ES, Jørgensen FV, Vinther FP, 2003. Empirical model for quantification of symbiotic nitrogen fixation in leguminous crops. *Agricultural Systems* 82, 181-194.

Højberg AL, Windolf J, Børgesen CD, Troldborg L, Tornbjerg H, Blicher-Mathiesen G, Kronvang B, Thodsen H, Erntsen V, 2015. National kvælstofmodel. Oplandsmodel til belastning og virkemidler: Metoderapport. De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland – GEUS.

Jacobsen BH, 2017. Beregning af kvælstofskyggepris med udgangspunkt i Fødevar- og Landbrugs-pakken, IFRO Udredning, Nr. 2017/08.

Jacobsen BH, Dubgaard A, 2012. Samfundsøkonomisk vurdering af energifafgrøder som virkemiddel for et bedre miljø. Rapport til BioM, Fødevarøkonomisk Institut, KU, 14 s.

Jacobsen LB, 2014. Det landbrugs- og fiskeriindustrielle kompleks 2009-2012, IFRO Udredning 2014/16

Jakobsen, P.R., Hermansen, B. og Tougaard, L., 2015. Danmarks digitale jordartskort 1:25000 version4.0. GEUS.

Jensen JD, 2014. ESMERALDA – pesticidanalyser til DØRS. Notat til De Økonomiske Råd, www.dors.dk, 19 s.

Jensen JD, Gylling M, 2018. Økonomiske vurderinger i forhold til værdikæden for Grøn Bioraffinering. IFRO notat.

Jørgensen K, Toft LV, 2018. Ny Rybjerggaard – rentabilitetsanalyse af grøn bioraffinering. Notat fra SEGES, 9 s.

Jørgensen U, Elsgaard L, Sørensen P, Olsen P, Vinther FP, Kristensen EF, Ejrnæs R, Nygaard B, Krogh PH, Bruhn A, Rasmussen MB, Johansen A, Jensen SK, Gylling M, Bojesen M, 2013. Biomasseudnyttelse i Danmark - potentielle ressourcer og bæredygtighed. DCA Rapport Nr. 033, 127 s.

Jørgensen U, Lærke PE, 2016. Merproduktion og mindre udledning i græsmarken. *Tidsskrift for Landøkonomi* 3 (202):193-202.

Kristensen K, Waagepetersen J, Børgesen CD, Vinther FP, Grant R, Blicher-Mathiesen G, 2008. Reestimation and further development in the model N-LES: N-LES3 to N-LES4. DJF Plant Science Report Nr. 139, 25 s.

Landbrugs- og Fiskeristyrelsen, 2017. Vejledning om gødsknings- og harmoniregler 2017/2018, 180 s.

Landbrugsstyrelsen 2018 Dataudtræk fra Landbrugsdatabasen..

Larsen S, Bentsen NS, Dalgaard T, Jørgensen U, Olesen JE, Felby C, 2017. Possibilities for Near-term Bio-energy Production and GHG-Mitigation through Sustainable Intensification of Agriculture and Forestry in Denmark. *Environmental Research Letters* 12 (11), DOI: 10.1088/1748-9326/aa9001

Larsen SU, Pedersen J, Hinge J, Rasmussen HK, Damgaard C, Jørgensen U, Lærke PE, Knudsen MT, De Rosa M, Hermansen JE, Jørgensen K, Holbeck HB, Løbner R, Eide T, Birkmose TS, 2015. Kortlægning af potentiale og barrierer ved energipil. *Energistyrelsen*. 161 s.

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

Miljø- og Fødevareministeriet, 2018. Aftale om målrettet regulering - Et nyt paradigme for miljøreguleringen af dansk landbrug, d. 16. januar 2018 aftale mellem Regeringen og Dansk Folkeparti.

Miljø- og Fødevareministeriet, Styrelsen for Vand-og Naturforvaltning, 2016. Vandområdeplan 2015-2021 for Vandområdedistrikt Jylland og Fyn, ISBN nr. 978-87-7175-582-4, 144 s.

Miljøstyrelsen, 2012. Bekæmpelsesmiddelstatistik 2011 - behandlingshyppighed og belastning. Orientering fra Miljøstyrelsen nr. 5, 2012.

Olesen JE, Jørgensen U, Hermansen JE, Petersen SO, Eriksen J, Søegaard K, Vinther FP, Elsgaard L, Lund P, Nørgaard JV, Møller HB, 2013. Effekter af tiltag til reduktion af landbrugets udledninger af drivhusgasser. DCA - Nationalt center for fødevarer og jordbrug. DCA Rapport Nr. 027, 52 s.

Olesen JE, Jørgensen U, Hermansen JE, Petersen SO, Søegaard K, Eriksen J, Schjørring P, Greve MH, Greve MB, Thomsen IK, Børgesen CD, Vinther FP, 2016. Græsdyrknings klima- og miljøeffekter. Notat fra DCA Nr. 1608410. 18 s.

Parajuli R, Dalgaard T, Jørgensen U, Adamsen APS, Knudsen MT, Birkved M, Gylling M, Schjørring JK, 2015. Biorefining in the prevailing energy and material crisis: a review on sustainable pathways for biorefinery value chains and sustainability assessment methodologies. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*. 43:244-263.

Parajuli R, Dalgaard T, Birkved M, 2018. Can farmers mitigate environmental impacts through combined production of food, fuel and feed? a consequential life cycle assessment of integrated mixed crop-live-stock system with a green biorefinery. *Science of the Total Environment* 619-620, 127-143.

Pedersen TH, Hansen NH, Perez OM, Cabezas DEV, Rosendahl LA, 2018. Renewable hydrocarbon fuels from hydrothermal liquefaction: A techno-economic analysis. *Biofuels, Bioproducts & Biorefining* 12, 213-223.

Pedroli B, Elbersen B, Frederiksen P, Grandin U, Heikkilä R, Krogh PH, Izakovičová Z, Johansen A, Meiresonne L, Spijker J, 2013. Is energy cropping in Europe compatible with biodiversity? Opportunities and threats to biodiversity from land-based production of biomass for bioenergy purposes. *Biomass and Bioenergy* 55, 73-86.

Poulsen HD, Rubæk GH (eds.) 2005. Fosfor i dansk landbrug. Omsætning, tab og virkemidler mod tab. DJF rapport Husdyrbrug nr. 68, 211 s.

Reddersen J, 2001. SRC-Willow (*Salix viminalis*) as a Resource for Flower-Visiting Insects. Biomass and Bioenergy. 20:171-179.

SEGES, 2017a. Kvælstofindsatsen i oplandet til Hjarbæk Fjord; Kan den målrettede regulering erstattes af en øget kollektiv indsats? 40 s.

SEGES, 2017b. Kvælstofindsatsen i oplandet til Skive Fjord og Lovns Bredning; Kan den målrettede regulering erstattes af en øget kollektiv indsats? 44 s.

Soussana JF, Loiseau P, Vuichard N, Ceschia E, Balesdent J, Chevallier T, Arrouays D, 2004. Carbon cycling and sequestration opportunities in temperate grasslands. Soil Use and Management 20, 219-230.

Taghizadeh-Toosi A, Olesen JE. 2016. Modelling soil organic carbon in Danish agricultural soils suggests low potential for future carbon sequestration. Agricultural Systems. 145:83-89.

Weisbjerg M, 2017. Fodring med pulpensilage gav mere mælk i tanken. Ny kvægforskning, oktober.

Ørum JE, Kjærgaard C, Thomsen IK, 2017. Landbruget og vandområdeplanerne: omkostninger og implementering af virkemidler i oplandet til Norsminde Fjord. Institut for Fødevarer- og Ressourceøkonomi, Københavns Universitet. IFRO Rapport, Nr. 258.

14 Appendiks 1. Beregningsforudsætninger for den økonomiske analyse

| Bioraffineringsanlæg, kapacitet | 20.000 | tons TS/år | 111.111 | tons frisk græs |
|--|---------------|------------------------------|----------------|------------------------|
| <i>Dyrkning af biomasse</i> | | | | |
| Frisk græs, tørstofandel | 18 | % | | |
| Græsudbytte pr. ha | 7,523 | Fe/ha (konv) | 5,852 | FE/ha (øko) |
| Græsareal | 2,624 | Ha (konv) | 3,315 | Ha (øko) |
| Dyrkningsomkostning | 1,27 | Kr./FE (konv) | 1,25 | Kr./FE (øko) |
| Dyrkningsomkostning | 18,34 | Kr./hkg græs | 17,98 | Kr./hkg græs (øko) |
| <i>Biomasetransport</i> | | | | |
| Gns. transportafstand | 10 | Km | 11 | Km (øko) |
| Transportomkostning pr. ton tørstof (TS) | 11,12 | Kr./t/km | | |
| <i>Bioraffinering</i> | | | | |
| Bioraffineringsanlæg, investeringer | 20.000 | t.kr. | 2.834 | t.kr./år |
| Personale | | | 1.474 | t.kr./år |
| Hjælpestoffer | | | 727 | t.kr./år |
| Energi | | | 1.525 | t.kr./år |
| <i>Tørret protein</i> | | | | |
| Tørret protein andel af biomasse | 18 | % TS | | |
| Sojaskrå pris | 2,50 | Kr./kg | | |
| <i>Fiberfraktion (presserest)</i> | | | | |
| Presserests andel af TS biomasse | 70 | % | | |
| Presserest, tørstofandel | 34 | % | | |
| Presserest, foderværdi | 0,27 | Fe/kg | | |
| Gns. transportafstand | 10 | Km | 11 | Km (øko) |
| Transportomkostning pr. ton TS, presserest | 11,12 | Kr./t/km | | |
| <i>Restfraktion (brunsaft)</i> | | | | |
| Brunsaft andel af tørstof biomasse | 12 | % | | |
| Brunsaft, tørstofandel | 4 | % | | |
| Biogasudbytte | 0,016 | Nm ³ /kg/brunsaft | | |
| Biogaspris | 4,5 | Kr./Nm ³ | | |
| Håndteringsomk. på biogasanlæg | 60 | Kr./t brunsaft | | |
| Gns. transportafstand | 10 | Km | 10 | Km (øko) |
| Transportomkostninger pr. ton brunsaft | 1,89 | Kr./t/km | | |

Kilde: Morten Ambye-Jensen, AU; SEGES; Fog og Thierry (2016)

Note: t.kr. ~1.000 kr.

15 Appendiks 2. Projektets følgegruppe

| Organisation | Titel og navn |
|---------------------------------|---------------------------------------|
| Landbo Limfjord | Formand Claus Clausen |
| Landboforeningen Midtjylland | Formand Frede Lundgaard Madsen |
| Agri Nord | Formand Carl Chr. Pedersen |
| SEGES | Afdelingsleder Irene Wiborg |
| SEGES | Afdelingschef Jens Elbæk |
| Landbrug & Fødevarer | Viceformand Lars Hvidtfeldt |
| Bæredygtigt Landbrug | Faglig direktør Jørgen Evald Jensen |
| Region Midtjylland | Chefkonsulent Anne Mette Langvad |
| Region Nordjylland | Specialkonsulent Torben Kronborg Pihl |
| Limfjordsrådet | Formand Jens Lauritzen |
| DN | Seniorrådgiver Thyge Nygaard |
| ARLA | Manager Jan D. Johannesen |
| DLG | Formand Niels Dengsø Jensen |
| AU/AGRO | Instituttleder Erik Steen Kristensen |
| Tidl. Danske Maskinstationer | Konsulent Mogens Kjeldal |
| DLF | Forskningsdirektør Klaus K. Nielsen |
| Danish Crown, sektorbestyrelsen | Gdr. Palle Joest Andersen |
| Agro Business Park/INBIOM | Projektchef Michael Støckler |
| Viborg Kommune | Afdelingschef Jørgen Jørgensen |
| Skive Kommune | Agronom Erik Kolding |
| Det Økologiske Råd | Sekretariatsleder Christian Ege |
| Landbrugsstyrelsen | Peter Byrial Dalsgaard |
| Miljøstyrelsen | Lasse Juul-Olsen |
| Miljø- og Fødevareministeriet | Espen Tind-Nordberg |
| Miljø- og Fødevareministeriet | Kontorchef Morten Ejrnæs |
| Miljø- og Fødevareministeriet | Fuldmægtig David Qvist Pears |

DCA - Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug er den faglige indgang til jordbrugs- og fødevareforskningen ved Aarhus Universitet (AU). Centrets hovedopgaver er videnudvæksling, rådgivning og interaktion med myndigheder, organisationer og erhvervsvirksomheder.

Centret koordinerer videnudvæksling og rådgivning ved de institutter, som har fødevarer og jordbrug, som hovedområde eller et meget betydende delområde:

Institut for Husdyrvidenskab
Institut for Fødevarer
Institut for Agroøkologi
Institut for Ingeniørvidenskab
Institut for Molekylærbiologi og Genetik

Herudover har DCA mulighed for at inddrage andre enheder ved AU, som har forskning af relevans for fagområdet.

RESUME

For at opnå god økologisk vandkvalitet i Limfjorden opstilles der med Vandområdeplanerne krav om en betydelig reduktion i nitratudledningen i dele af oplandet til Limfjorden. Kollektive virkemidler såsom vådområder og minivådområder har i dele af oplandet kun et lavt potentiale pga. lav dræningsgrad. De traditionelle virkemidler på dyrkningsfladen – fx efterafgrøder og reduktion af kvælstofgødskningen – vil i mange tilfælde ikke være tilstrækkelige til at nå reduktionsmålene. Dyrkning af flerårige afgrøder i kombination med bioraffinering repræsenterer en mulighed for både at nå reduktionsmålene og at opretholde en økonomisk bæredygtig landbrugsproduktion. I planperioden 2015-2021 forventes en del af nitratmålsætningen opnået, mens en del er udskudt til perioden efter 2021. Resultater af analyser for tre scenarier for biomasseproduktion viser, at der skal omlægges mellem 16 og 28% af landbrugsarealet i oplandet for at opnå den udskudte reduktion i fjorden. Ved at tage hensyn til retentionen i de forskellige deloplande vil arealomlægning kunne reduceres med 4-9%, sammenlignet med udvælgelse af marker med den største udvaskning fra rodzonen. Majs er den afgrøde, hvoraf den største andel omlægges i scenarierne, fordi det er her den største reduktion i nitratudvaskning opnås. Antagelsen om at kunne udtage de mest belastende marker til græsproduktion er mere optimal end muligt i praksis, og derfor repræsenterer analyserne et estimat for et minimumsareal, der skal udtages for at nå målene i vandplanerne. De økonomiske analyser viser en positiv business case for produktion af økologisk proteinkoncentrat ud fra kløvergræs. Men analyserne viser også, at der kan være stor forskel mellem områder og bedrifter med gevinster og tab, og at andre produktionsformer (intensivt græs eller energipil) i dele af oplandet kan konkurrere med omkostningerne til øvrige anvendte virkemidler til reduktion af nitratudvaskning.

