

# Endelig rapport i pilotprojekt om biomasse

---

Rådgivningsrapport fra DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug

René Gislum, Ingrid K. Thomsen, Elly M. Hansen, Anders K. Mortensen, René Larsen og  
Jørgen E. Olesen

Institut for Agroøkologi, Aarhus Universitet



AARHUS  
UNIVERSITET

DCA - NATIONALT CENTER FOR FØDEVARER OG JORDBRUG



# Datablad

---

|                               |  |
|-------------------------------|--|
| Titel:                        | Endelig rapport i pilotprojekt om biomasse   |
| Forfatter(e):                 | Lektor René Gislum, seniorforsker Ingrid K. Thomsen, seniorforsker Elly M. Hansen, postdoc. Anders K. Mortensen, akademisk medarbejder René Larsen og professor Jørgen E. Olesen. Institut for Agroøkologi, AU   |
| Fagfællebedømmelse:           | Professor Jørgen Eriksen, Institut for Agroøkologi, AU   |
| Kvalitetssikring, DCA:        | Specialkonsulent Lene Hegelund, DCA Centerenheden, AU  |
| Rekvirent:                    | Landbrugsstyrelsen, Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri (FVM)   |
| Dato for bestilling/levering: | 22.03.2022 / 01.06.2022  |
| Journalnummer:                | 2022-0329652   |
| Finansiering:                 | Besvarelsen er udarbejdet som led i "Rammeaftale om forskningsbaseret myndighedsbetjening" indgået mellem Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri (FVM) og Aarhus Universitet under ID nr. 5.27 i "Ydelsesaftale Planteproduktion 2022-2025".   |
| Ekstern kommentering:         | Nej.   |
| Eksterne bidrag:              | Til analysen af sammenhæng mellem NDVI data fra LBST og SEGES er der modtaget NDVI-data fra begge parter. Data kan hentes <a href="#">her</a> .  |
| Kommentarer til bestilling:   | AU har udarbejdet tre tidligere besvarelser til Pilotprojekt om biomasse: Gislum og Jørgensen, 2018; Thomsen et al, 2019; Gislum et al, 2021.  |
| Kommentarer til besvarelse:   | <p>I pilotprojektet er der nedsat en projektgruppe med repræsentanter fra Miljø- &amp; Fødevareministeriet (MFVM), Landbrug &amp; Fødevarer, SEGES og AU. Nærværende rapport er udelukkende udarbejdet af AU.</p> <p>Rapporten præsenterer resultater, som ved udgivelsen ikke har været i eksternt peer review eller er publiceret andre steder. Ved en evt. senere publicering i tidsskrifter med eksternt peer review vil der derfor kunne forekomme ændringer.</p> |
| Citeres som:                  | Gislum R, Thomsen IK, Hansen EM, Mortensen AK, Larsen R, Olesen JE. 2022. Endelig rapport i pilotprojekt om biomasse. 21 sider. Rådgivningsrapport fra DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, Aarhus Universitet, leveret: 01.06.2022.  |
| Rådgivning fra DCA:           | Læs mere på <a href="https://dca.au.dk/raadgivning/">https://dca.au.dk/raadgivning/</a>  |

## Forord

I regi af partnerskabet om præcisionslandbrug blev der i 2019 igangsat et pilotprojekt omkring efterafgrøder/biomasse. Formålet med pilotprojektet var at afdække muligheden for at erstatte fysiske kontrolbesøg af efterafgrødemarker med satellitmålinger. Et andet formål var at teste nye reguleringsmekanismer, hvor eksisterende regler knyttet til krav om etablering af efterafgrøder til en vis grad erstattes af et krav om biomasse i efteråret.

I pilotprojektet blev nedsat en projektgruppe med repræsentanter fra Miljø- & Fødevareministeriet (MFVM), Landbrug & Fødevarer, SEGES og AU. Formålet med projektgruppen var at definere og beskrive rammerne omkring pilotprojektet og at afdække, hvorvidt vidensgrundlaget var tilstrækkeligt solidt til at igangsætte det foreslåede pilotprojekt med start i 2019. Desuden skulle projektgruppen udarbejde det faglige og tekniske grundlag til at designe pilotprojektet og regulere de deltagende bedrifter i pilotordningen på baggrund af satellitmålt biomasse.

I Gislum et al. 2021 er resultater fra 2020 præsenteret og nærværende rapport inkluderer resultater fra 2021, og kommer med en samlet diskussion og konklusion for pilotprojekt for biomasse.

# Indholdsfortegnelse

|  |    |
|--|----|
| Forord .....                                 | 3  |
| Baggrund.....                                | 5  |
| Punkt 1 (Leverance 2.1 i projektplanen)..... | 6  |
| Punkt 2 (Leverance 2.2 i projektplanen)..... | 8  |
| Punkt 3 (Leverance 2.3 i projektplanen)..... | 13 |
| Punkt 4 (Leverance 2.4 i projektplanen)..... | 15 |
| Punkt A .....                                | 18 |
| Punkt B .....                                | 19 |
| Referencer.....                              | 20 |

## Baggrund

I en bestilling dateret 23. marts 2022 til DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug – har Landbrugsstyrelsen (LBST) bedt Aarhus Universitet (AU) om den endelige rapport fra pilotprojektet om biomasse og efterafgrøder. Det oplyses, at LBST ønsker, at AU kommenterer på rapporten fra SEGES (dvs. Kristensen og Knudsen, 2022), samt at den endelige rapport udarbejdes på baggrund af data fra begge forsøgsår. I bestillingen er der opstillet fire spørgsmål som ønskes besvaret. Spørgsmålene tager udgangspunkt i leverancer fra projektplanen, og indeholder uddybninger, der er beskrevet i de enkelte kapitler:

1. Er der et behov for at justere niveauet for NDVI-krav i forhold til den platform, som NDVI er målt på (satellit/drone/håndholdt måleudstyr)?
2. Hvad er sammenhængen mellem NDVI-værdier og udvaskningsrisikoen ved de afgrøder, der indgår i pilotprojektet?
3. Hvilke typer sædskifteændringer, med relevans for dette pilotprojekt, kan resultere i medudvaskningen?
4. Vil det være muligt at indføre krav til minimum afgrødeindeks på bedriften målt med satellit om efteråret, som erstatning for nugældende regelsæt for efterafgrøder og deres alternativer, i forhold til forhold til nuværende regulering og fremtidig regulering, hvor vi forventer et øget indsatsbehov og dermed øget krav

Og endelig har resultater fra de foreløbige analyser i Pilotprojektet givet anledning til to yderligere spørgsmål

- A. Er års-variationen og dermed usikkerheden i målte afgrødeindeks-værdier større end variationen og usikkerhederne mellem afgrøder, og er disse variationer mellem år og afgrøder i samme størrelsesorden som års- og afgrøde-variationen i kvælstofoptag og udvaskningsreducerende effekt? Denne sammenligning kan med fordel tage udgangspunkt i variationskoefficienten/den relative standardafvigelse eller et lignende relevant statistisk redskab.
- B. En drøftelse af hvordan øgede kvælstofpriser og dermed ændrede økonomisk optimal kvælstoftilførsel kan forventes at påvirke afgrødeindeks, samt hvordan sådanne faktorer kan inddrages i en afgrødeindeks baseret regulering.

I Gislum et al. 2021 er resultater fra 2020 i pilotprojektet præsenteret og diskuteret. I nærværende rapport indgår resultater fra både 2020 og 2021. I rapporten belyses hvorvidt et krav om minimum afgrødeindeks (NDVI/NDRE) på bedriften i efteråret vil være tilstrækkeligt til at sikre samme beskyttelsesniveau for vandmiljøet som den nuværende regulering. Herunder en analyse af, om og hvordan satellitmålinger af afgrødeindeks om efteråret kan erstatte nugældende regelsæt for efterafgrøder og deres alternativer, med udgangspunkt i det set-up, der testes i pilotprojektet for biomasse og efterafgrøder. Endvidere er der opbygget viden omkring andre typer af plantevækst om efteråret, f.eks. spildkorn, i forhold til den udvaskningsreducerende effekt.

Aarhus Universitet anvender i nærværende rapport endnu ikke publicerede resultater fra Institut for Agroøkologi, AU samt resultater fra SEGES (Kristensen & Knudsen, 2021, 2022).

# Punkt 1 (Leverance 2.1 i projektplanen)

## Spørgsmål

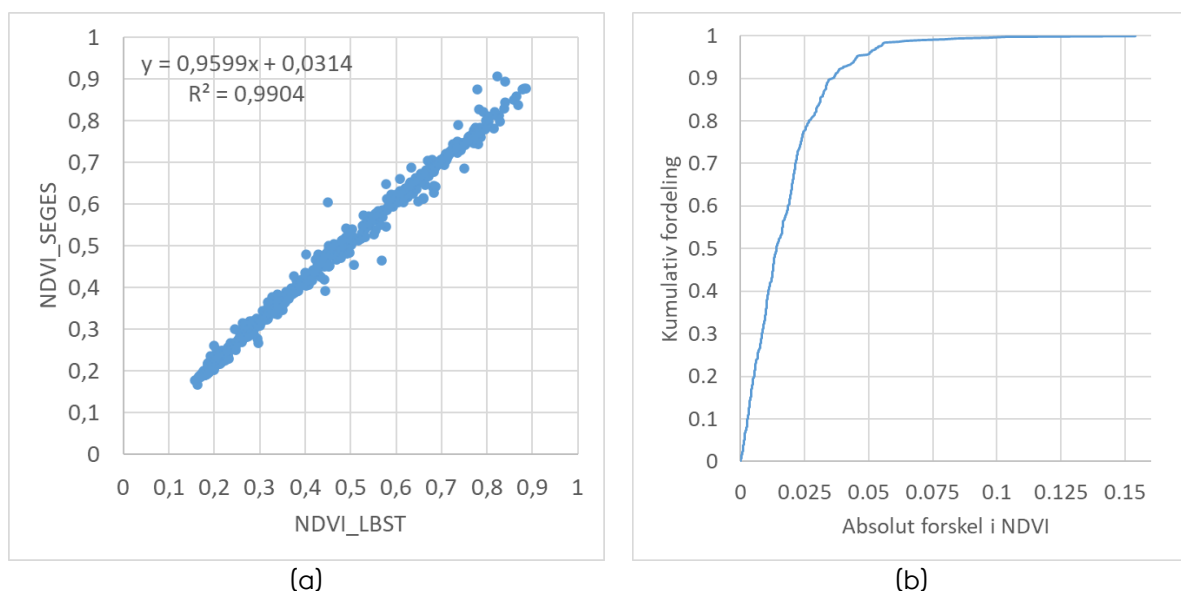
Er der behov for at justere niveauet for NDVI-krav i forhold til den platform, som NDVI er målt på (satellit/drone/håndholdt måleudstyr)?

Besvarelsen bedes indeholde beskrivelse af hvilke aspekter af databehandling og måleudstyr, der kan have betydning for NDVI værdierne.

## Svar

Af Gislum et al. (2021) fremgår, at der ikke er behov for at justere niveauet for NDVI-krav i forhold til de undersøgte satellit- og droneplatforme. Dette begrundes i at der ikke er forskel i estimeringen af kvælstofoptag ved brug af den valgte satellit og den valgte droneplatform, og der er en god sammenhæng mellem anvendelsen af NDVI median- og middelværdier for satellitdata. Det konkluderes imidlertid at det bør undersøges, om der er forskel på beregnede NDVI-værdier fra LBST og SEGES.

For at teste en eventuel forskel mellem beregnede afgrødeindeksværdier fra de to satellitplatforme, modtog AU NDVI-værdier fra SEGES og LBST fra marker i pilotprojektordningen. AU har ikke kendskab til, hvordan NDVI er beregnet for de to platforme, og kan derfor ikke begrunde en eventuel forskel i NDVI mellem de to platforme, men vi har nedenfor kommenteret, hvad der kan forårsage en forskel i beregnede NDVI værdier. Sammenhængen mellem NDVI fra SEGES og LBST er vist i Figur 1a. Der er 479 punkter i figuren, og data findes desuden i afsnittet "Supplerende materiale"



**Figur 1.** (a) Sammenhæng mellem NDVI-værdier fra LBST og SEGES satellitplatformene. (b) Kumulativ fordeling af den absolutte forskel i NDVI-værdier fra LBST og SEGES satellit-platformene.

Analysen viste god sammenhæng mellem NDVI fra de to platforme, med kun få afvigende punkter. Figur 1b viser den kumulative fordeling af den absolutte forskel mellem de to platforme. Det ses, at forskellen i målt NDVI fra de to platforme er mindre end eller lig 0,01 i 35% af tilfældene. Endvidere er forskellen mindre end eller lig 0,05 i 96% af tilfældene. Kun to tilfælde (ud af 479) havde en forskel på

0,1 eller mere. Forskellen skyldes de metoder, som de to platforme anvender. Det kan blandt andet inkludere følgende aspekter: 1) Placeringen af de bånd, som de to satellitplatforme, bruger til at repræsentere hhv. rød og nær-infrarød i beregningen af NDVI. 2) Pixelstørrelsen, dvs. det areal på jordoverfladen som en pixel i satellitbilledet dækker over. 3) Pixel-alignment mellem de to satellitplatforme. Dvs. hvis repræsentationen af marken i satellitbilledet er forskudt med f.eks. 0,5 pixel, kan dette have indflydelse på den beregnede NDVI-værdi. 4) Håndtering af pixels i ved kanten af marken. Disse pixels vil indeholde data fra både inden for og uden for marken. Afhængigt af forholdene kan dette både medføre en øget og mindsket beregnet NDVI. 5) Anvendt middeltendens, f.eks. middelværdien eller medianen af pixels inden for marken. Hvor stor indflydelse de enkelte aspekter har på den beregnede værdi er dog uvist, men baseret på figur 1 vurderes, at de samlet set har lille effekt på beregningen af NDVI mellem de to satellitplatforme. I sammenligningen var der marker og/eller enkelte tidspunkter, hvor den ene eller den anden platform ikke havde værdier i perioden fra 1. september 2021 til 23. november 2021, og disse marker og/eller værdier er ikke med i sammenligningen. Vi konkluderer på baggrund af de modtagne data, at der er en lille forskel i de beregnede NDVI værdier for de to satellitplatforme.

## Punkt 2 (Leverance 2.2 i projektplanen)

### Spørgsmål

*Hvad er sammenhængen mellem NDVI-værdier og udvaskningsrisikoen ved de afgrøder, der indgår i pilotprojektet?*

*Besvarelsen bedes inkludere en analyse, der tager udgangspunkt i data fra pilotprojektet angående afgrøder, dyrkningsforhold, jordbundsforhold, lokaliteter, N-min indhold i jorden, N-optag i efteråret og NDVI-målinger fra satellit og drone. I første omgang og i det omfang det er muligt, tages udgangspunkt i eksperimentelle undersøgelser med samtidige målinger af NDVI, kvælstofoptag og udvaskning. I analysen kan indgå sammenhænge mellem NDVI af efterafgrøder, tidligt sået vintersæd, ukrudt + spildkorn, kvælstofoptag og udvaskning.*

*Om muligt inkluderes en analyse af, om der alternativt kan bruges et afgrøde-indeks, der inkluderer red-edge bølgebånd, som f.eks. NDRE, for bedre at kunne estimere kvælstofoptagelsen ved høje bladarealindeks.*

*Der inkluderes en redegørelse for mulighederne for at vurdere sammenhæng mellem afgrødeindeks (NDVI/NDRE) målt i efteråret og eftervirkning det følgende år.*

### Svar

#### Sammenhæng mellem biomasse efterår og udvaskning

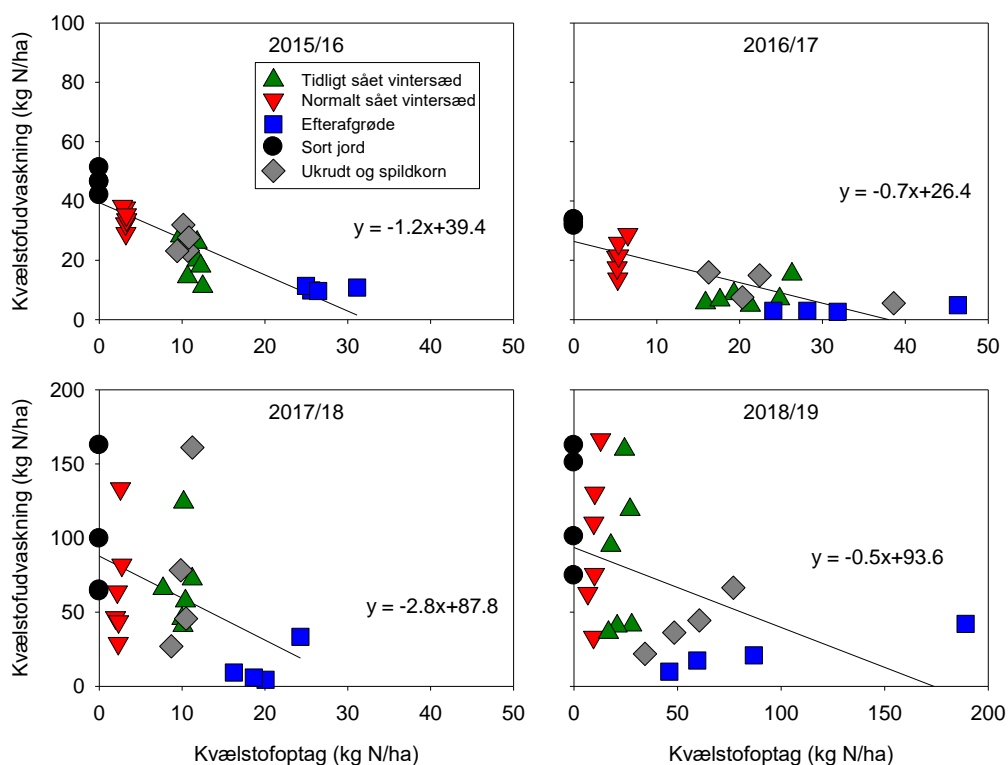
Kristensen & Knudsen (2022) har beskrevet og vist sammenhængen mellem NDVI målt med henholdsvis satellit og drone, kvælstofoptagelse i forskellige afgrøder i efteråret samt N-min målt i samme afgrøder samme efterår. De konkluderede på baggrund af resultater fra 2020 og 2021 blandt andet, at resultaterne fra pilotprojektet indikerer, at NDVI afspejler kvælstofoptagelsen i efteråret. Der indgår ikke udvaskningsresultater i rapporten.

Det foreligger få forsøg, hvor NDVI-målinger kan relateres til udvaskning, udvaskningsreduktion eller N-min, men sammenhængen er ikke endeligt gjort op. Sammenhængen mellem kvælstofoptag efterår (i stedet for til NDVI) og udvaskning foreligger dog for en række eksperimentelle undersøgelser, hvoraf nogle er præsenteret i det følgende.

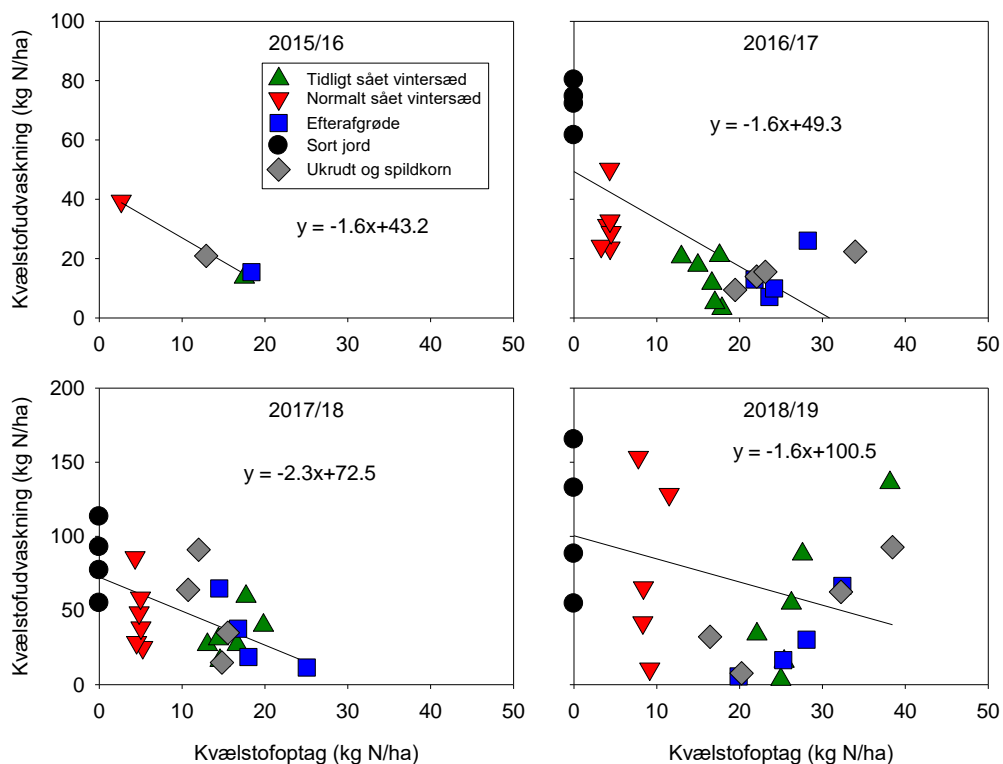
I forsøg med stigende mængder kvælstof i VIRKN-projektet ("Stigende N"), blev der på to lokaliteter, Foulum og Flakkebjerg, gennem fire udvaskningssæsoner målt kvælstofoptag i efteråret og udvaskning gennem den efterfølgende udvaskningssæson ved fire til seks gødningsniveauer (Vogeler et al., 2021). I Figur 2 og Figur 3 er udvaskningen relateret til kvælstofoptag i efteråret med angivelse af en lineær sammenhæng. Af figurene fremgår, at der over årene er en betydelig variation. Generelt er kvælstofoptaget lavt og udvaskningsniveauet højt i vinterhvede sået til normal tid, mens tidligt sået vinterhvede til sammenligning viser højere kvælstofoptag og lavere udvaskning. En stigende kvælstofoptagelse i efteråret har generelt en reducerende effekt på udvaskningen. Hældningskoefficienten viser, at for hvert kilo kvælstof optaget om efteråret på de to lokaliteter blev udvaskningen reduceret med mellem 0,5 og 2,8 kg N/ha. Sammenhængen mellem kvælstofoptag og -udvaskning i udvaskningssæsonen 2018/19 var meget ringe, hvilket tilskrives tørkeåret 2018, hvor kvælstofudnyttelsen var lav (Vogeler et al., 2021). Den forventet store mængde kvælstof efterladt efter



høst 2018 blev tilsyneladende ikke optaget i et sådant omfang, at kvælstofudvaskningen kunne minimeres.

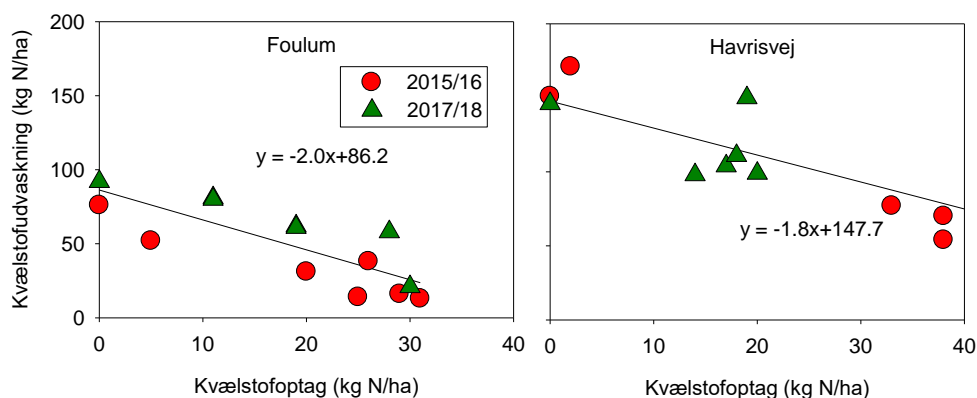


**Figur 2.** Kvælstofudvaskning som funktion af kvælstofoptag i det forudgående efterår i tidligt og normalt sået vintersæd, efterafgrøde samt ukrudt og spildkorn efter vårbyg ved Flakkebjerg. Sort jord blev friholdt for bevoksning ved anvendelse af herbicider. Vintersæd og vårbyg blev gødet ved hhv. seks og fire kvælstofniveauer. I efteråret 2017 blev der pløjet tidligt forud for forventet tidlig såning af vintersæden men såning blev først gennemført til normalt såtidspunkt. Parceller med vårbyg og efterafgrøde, sort jord eller ukrudt og spildkorn blev pløjet i sidste halvdel af november. Det lineære funktionsudtryk er angivet. Bemærk at akserne varierer mellem de fire udvaskningsår. Data fra "Stigende N" i GUDP-projektet VIRKN (Vogeler et al., 2021).

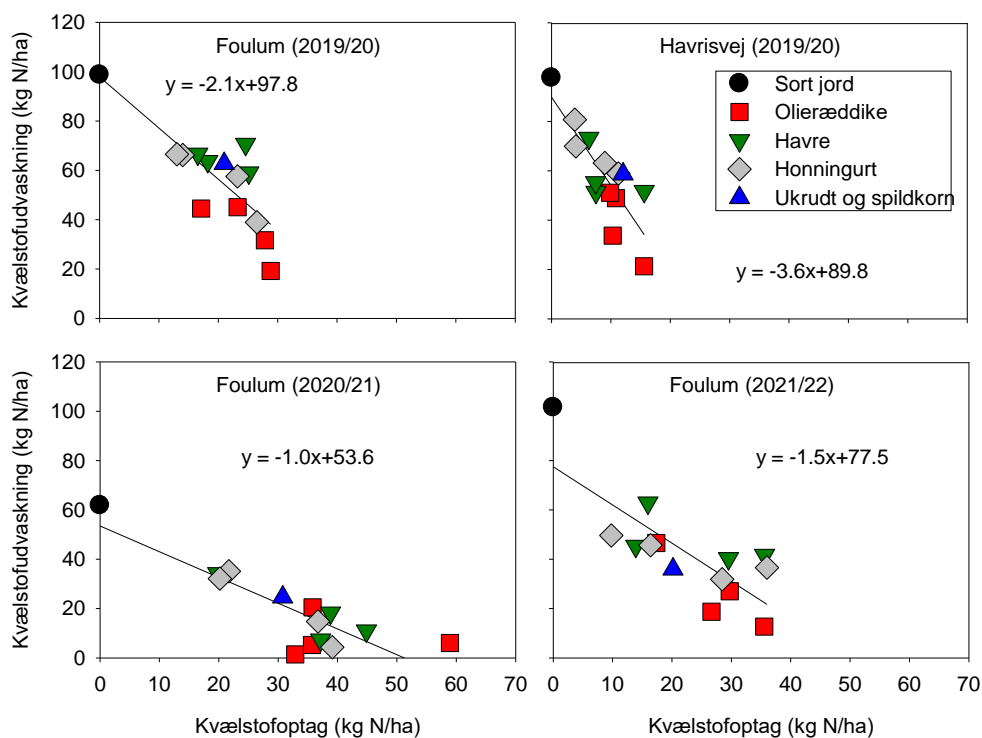


**Figur 3.** Kvælstofudvaskning som funktion af kvælstofoptag i det forudgående efterår i tidligt og normalt sået vintersæd, efterafgrøde samt ukrudt og spildkorn efter vårbyg ved Foulum. Sort jord blev friholdt for bevoksning ved anvendelse af herbicider. Vintersæd og vårbyg blev gødet på hhv. seks og fire kvælstofniveauer. Parceller med vårbyg og efterafgrøde, sort jord eller ukrudt og spildkorn blev pløjet i februar-marts. Det lineære funktionsudtryk er angivet. Bemærk at akserne varierer mellem de fire udvaskningsår. Data fra "Stigende N" i GUDP-projektet VIRKN (Vogeler et al., 2021).

I Figur 4 er sammenhængen mellem kvælstofoptag og udvaskning vist for forsøget med vårbyg i VIRKN-projektet "Bygforsøget" gennemført på to lokaliteter, Havrisvej og Foulum, gennem to udvaskningssæsoner. Figurerne viser, at der i disse forsøg er opnået en reduktion i kvælstofudvaskningen på 1,8-2,0 kg N for hvert kg kvælstof optaget i efteråret. Tilsvarende er der i Figur 5 vist sammenhænge for projektet med Nye Efterafgrøder (Hansen & Thomsen, 2020), hvor der på Foulum i 2019/20 er opnået en reduktion på 2,1 kg N/ha og på Havrisvej 3,6 kg N/ha for hvert kilo kvælstof optaget. I de efterfølgende to udvaskningssæsoner, hvor der alene blev gennemført forsøg på Foulum, blev opnået en reduktion på 1,0 og 1,5 kg N/ha for hvert kilo kvælstof optaget (Hansen & Thomsen, 2022).



**Figur 4.** Kvælstofudvaskning som funktion af kvælstofoptag i det forudgående efterår i forskellige efterafgrøder, vinterrug samt sort jord friholdt for bevoksning ved anvendelse af herbicider. Parcellerne blev pløjet i februar-marts. Det lineære funktionsudtryk er angivet. Data fra "Bygforsøget" i GUDP-projektet VIRKN (upubliceret).



**Figur 5.** Kvælstofudvaskning 2019/20 som funktion af kvælstofoptag i det forudgående efterår i forskellige efterafgrøder sået til forskellige tidspunkter gennem efteråret på to lokaliteter. Parcellerne blev pløjet i marts. Det lineære funktionsudtryk er angivet. Data fra projektet Nye Efterafgrøder, Udvasningsforsøget (Hansen & Thomsen, 2020, 2022).

I en vurdering af sammenhængen mellem kvælstofoptag og udvaskningsrisiko for forskellige afgrøder ses i Figur 2-5, at stigende kvælstofoptag i afgrøden, og dermed forventet stigende NDVI, generelt reducerer udvaskningsrisikoen. Reduktionen udtrykt ved hældningskoefficienten varierer dog

betydeligt, og der er stor forskel på de absolutte udvaskningsniveauer, som ikke kan forventes relateret til kvælstofoptaget og dermed heller ikke til NDVI-værdi.

Der er mange faktorer, som kan have indflydelse på, hvor god en sammenhæng, der kan opnås mellem kvælstof i biomassen om efteråret og udvaskning eller N-min. For eksempel har jordens indhold af plantetilgængeligt kvælstof samt afgrøder og efterafgrøders etableringssucces betydning for hvor meget kvælstof, der kan optages. Dette fremgår ligeledes af Kristensen & Knudsen (2021), som konkluderer, at "når man skal vurdere effekten af efterafgrøder, er man nødt til at vurdere, hvor meget kvælstof jorden stiller til rådighed for efterafgrøderne". En lav kvælstofoptagelse i en afgrøde/efterafgrøde eller i spildkorn og ukrudt kan således skyldes et lavt N-min indhold i jorden, men det kan også skyldes begrænset afgrødevækst, hvilket kan være tilfældet ved både høje og lave N-min indhold. I de fleste forsøg bag Figur 2-5 er der opnået en større reduktion i kvælstofudvaskningen, end hvad der kan forklares med kvælstofoptaget i den overjordiske biomasse. Dette tilskrives dels, at planterne optager kvælstof i rodsystemet (Li et al., 2015), dels at der har været et fortsat kvælstofoptag efter planteklippet, hvor der først jordbearbejdes forår (Hansen & Thomsen, 2020, 2022). Som anført af Hansen & Thomsen (2020), forventes et tidligere tidspunkt for jordbearbejdning, dvs. efterår eller vinter, at mindske udvaskningsreduktionen gennem afstrømningsperioden, og der kan derfor forventes en større overensstemmelse mellem kvælstofoptag efterår og udvaskningsreduktion.

### Red-edge bølgebånd

I Gislum & Jørgensen (2018) konkluderes, at red-edge bør inkluderes i en model til bestemmelse af kvælstofoptagelse i efterafgrøder ved høje bladarealindeks. Da der ikke er nyere resultater indenfor området, vurderes dette stadig at være gældende, men det er nødvendigt med et større datamateriale for entydigt at kunne konkludere, om anvendelse af et indeks som for eksempel NDRE, der netop indeholder red-edge bølgebåndet, bedre kan estimere kvælstofoptagelsen i efterafgrøder sent i efteråret. Resultater fra Kristensen & Knudsen (2022) viser endvidere, at det kun er kløvergræs i omdrift, der har et gennemsnitligt maksimal NDVI værdi omkring 0,8 i 2020 og 2021.

### Afgrødeindeks og eftervirkning

De to afgrødeindeks (NDVI og NDRE) kan alene estimere kvælstofoptaget, mens værdierne ikke umiddelbart giver mulighed for at estimere den aktuelle eftervirkning det følgende år. Ved et stort kvælstofoptag i plantevækst på marken om efteråret kan der dog potentielt forventes en stor eftervirkning i de følgende år, såfremt det opsamlede kvælstof ikke tabes, inden efterfølgende afgrøder har haft mulighed for at optage det. Eftervirkningen vil i praksis dog være afhængig af en række forhold, herunder blandt andet C/N forholdet.

### Konklusion

Det konkluderes, at NDVI giver et estimat for kvælstofoptagelsen i afgrøderne, og at der med et stigende kvælstofoptag i afgrøder kan forventes et lavere udvaskningspotentiale på en given lokalitet. Det vurderes dog ikke muligt ud fra NDVI at estimere den absolutte kvælstofudvaskning. NDVI og NDRE kan ikke i sig selv give information om eftervirkningen i de efterfølgende år.

## Punkt 3 (Leverance 2.3 i projektplanen)

### Spørgsmål

*Hvilke typer sædskifteændringer med relevans for dette pilotprojekt kan resultere i merudvaskning?*

*Besvarelsen bør berøre væsentlige problemstillinger angående, hvordan man kan estimere udvaskningen på en given bedrift med en given afgrødesammenhæng og given dyrkningspraksis. Baseline for udvaskning kan f.eks. være gældende lovgivningsmæssige rammer for efterafgrøder og plantedække.*

*Vurderinger af ændringer i udvaskning kan baseres på simple sammenhænge, der ofte anvendes for effekt af f.eks. efterafgrøder og tidlig såning af vintersæd.*

### Svar

#### Sædskifteændringer med relevans for pilotprojektet som kan resultere i merudvaskning

I pilotprojekt om biomasse erstattes bedriftens krav til pligtige og husdyrefterafgrøde med et krav om at opnå en gennemsnitlig NDVI for tilmeldte marker, som kan være alle bedriftens marker undtagen marker med afgrøderne: majs, vinterraps, permanent græs, græs i omdrift (fodergræs), bælgplanter og kløvergræs samt efterafgrøder med bælgplanter (Landbrugsstyrelsen, 2020). I pilotprojektet ses bort fra de nugældende omregningsfaktorer mellem efterafgrøder og deres alternativer, og f.eks. har tidligt sået vintersæd kunnet erstatte efterafgrøder i forholdet 1:1 i stedet for 2:1 i den generelle regulering. Hvis arealet med efterafgrøder reduceres og erstattes af vintersæd i forholdet 1:1, vil det kunne medføre merudvaskning i forhold til nugældende regulering.

Det vurderes, at sædskifteændringer i pilotprojektet især vil være et skift fra vårbyg med efterafgrøder til dyrkning af vintersæd. I både 2020 og 2021 opnåede vintersædmarkerne i pilotprojektet generelt en NDVI på over det krævede 0,5 (Kristensen & Knudsen, 2021, 2022), hvilket betyder, at de har kunnet erstatte efterafgrøder i forholdet 1:1. I forsøg, hvor det er muligt direkte at sammenligne udvaskning fra vintersæd med udvaskning fra vårbyg med efterafgrøder, har udvaskningen fra vintersæden sået til normal tid været større end fra vårbyg med efterafgrøder (Hansen & Thomsen, 2019; Vogeler et al., 2021). Den empiriske model NLES5, der bygger på en lang række udvaskningsmålinger, estimerer ligeledes vinterhvede til at have betydelig højere udvaskning end vårbyg med efterafgrøder (Børgeesen et al., 2020). En ændring af sædskiftet, hvor efterårsbevoksningen ændres fra efterafgrøder til vintersæd vil derfor kunne resultere i en merudvaskning. Samme problemstilling er rejst i Thomsen et al. (2019).

Marker med ukrudt og spildkorn og marker med udlæg af frøgræs indgår i pilotprojektet til opnåelse af NDVI-kravet (Kristensen & Knudsen, 2021, 2022; Landbrugsstyrelsen, 2020), mens disse bevoksninger ikke betragtes som virkemidler og alternativer til efterafgrøder i den nugældende regulering (Landbrugsstyrelsen 2021). Udvasningen fra udlæg af frøgræs forventes at være lav, men i den generelle regulering indgår udlæg som en del af referencesituationen. Når frøgræsudlæg i pilotprojektet indgår til dækning af NDVI-kravet, kan det medføre, at der bliver plads til f.eks. mere vintersæd, da frøgræsudlægget kan erstatte de efterafgrøder, der ellers ville have været krav om. Tilsvarende vil muligheden for, at ukrudt og spildkorn indgår til opfyldelse af NDVI-kravet, kunne bevirke, at der kan dyrkes mere vintersæd, end hvis der skulle være opfyldt et krav om efterafgrøder. I en situation, hvor udlæg samt ukrudt og spildkorn kan erstatte efterafgrøder og bevirke, at arealet med vintersæd øges, vil der være risiko for merudvaskning.

## Problemstillinger i forhold til at estimere udvaskningen på en given bedrift

Udvaskningen fra en given bedrift vil potentielt kunne estimeres ud fra modelberegninger gennemført med f.eks. NLES5 (Børgesen et al., 2019). Derimod vurderes NDVI, som også anført af Kristensen & Knudsen (2022), ikke at kunne estimere det absolutte udvaskningsniveau. Væsentlige problemstillinger i forbindelse med at estimere udvaskningen på mark- og bedriftsniveau er derfor relateret til de områder, hvor NLES5 er svagt funderet. Sådanne områder er f.eks. tidlig såning af vintersæd og sen såning af efterafgrøder, som NLES ikke i sin nuværende form kan håndtere.

## Punkt 4 (Leverance 2.4 i projektplanen)

### Spørgsmål

*Vil det være muligt at indføre krav til minimum afgrødeindeks på bedriften målt med satellit om efteråret, som erstatning for nugældende regelsæt for efterafgrøder og deres alternativer, i forhold til nuværende regulering og fremtidig regulering, hvor vi forventer et øget indsatsbehov og dermed øget krav.*

*Besvarelsen bedes inkludere en vurdering af mulighed for indførelse af krav til afgrødeindeks til erstatning af nugældende regelsæt for efterafgrøder og deres alternativer.*

*Denne bør inkludere en vurdering af hvilken reference og baseline, dvs. nuværende praksis, der tages udgangspunkt i. Her tænkes på, at virkemidler ofte defineres ud fra deres reduktion af udvaskning frem for den egentlige udvaskning fra de dyrkningssystemer, virkemidlerne indgår i.*

*Endvidere bedes besvarelsen inkludere en vurdering af, hvordan eftervirkning bør fastsættes i en sådan ordning.*

### Svar

#### Mulighed for at indføre krav til minimum afgrødeindeks til erstatning af nugældende regelsæt

Som anført i bestillingen og nævnt i Thomsen et al. (2017) er virkemidler ofte defineret ud fra deres reduktion af udvaskningen frem for den egentlige udvaskning fra de dyrkningssystemer, virkemidlerne indgår i. Således er effekten af efterafgrøder fastsat som forskel i udvaskning med og uden efterafgrøder (Hansen et al., 2020), og effekten af tidlig såning af vintersæd er bestemt som forskel i udvaskning mellem vintersæd sået hhv. tidligt og til normal tid (Thomsen et al., 2020). Den nugældende regulering kan derfor betragtes med en referencesituation, hvor der ikke dyrkes efterafgrøder, og hvor vintersæden sås til normal tid. Med dette udgangspunkt vil dyrkning af efterafgrøder samt tidlig såning af vintersæd have en udvaskningsreducerende effekt.

Det vurderes, at nugældende regelsæt i princippet vil kunne erstattes af et krav til minimum afgrødeindeks. Det forudsætter dog, som også anført af Zhao et al. (2020), at kravet til afgrødeindeks vægtes i forhold til f.eks. lokalitet, bedrifts- og jordtype. En sådan vægtning kan ske ud fra tidligere års NDVI for den pågældende afgrøde, lokalitet og nuværende indsatskrav, hvilket er illustreret i Bilag 1 i Kristensen & Knudsen (2021, 2022). Der er dog flere problemstillinger i en sådan potentiel NDVI-regulering. Blandt andet resulterer relativt forskellige indsatskrav i meget små forskelle i krav til NDVI, som ofte kun påvirker anden decimal (Kristensen & Knudsen, 2021, 2022). For eksempel øges NDVI kravet fra 0,60 til 0,61, hvor 10 ha efterafgrøder er erstattet af 20 ha af alternativet tidlig såning af vintersæd (Kristensen & Knudsen, 2021, 2022). Ligeledes er det i Thomsen et al. (2019) vist, at der med et NDVI-krav angivet med to decimaler ikke vil kunne skelnes mellem de daværende krav om hhv. 10 og 14% efterafgrøder. Der er således tale om meget små ændringer i krav stillet på baggrund af NDVI i forhold til nuværende krav stillet i form af et givent areal med efterafgrøder eller alternativer til disse.

En anden problemstilling ved en potentiel erstatning af det nugældende regelsæt med krav til minimum afgrødeindeks vil være, at de nuværende dyrkningssystemer og indsatskrav dermed bliver en form for reference. Øgede fremtidige indsatskrav vil derfor udmøntes i stigende krav til NDVI ud fra denne reference. Dette forudsætter en sammenhæng mellem NDVI, afgrøde, sædskifte og udvaskning, som ikke er til rådighed.

Det udestår at definere en afgrødeindeksbaseret regulering, der på nuværende tidspunkt fuldt ud kan erstatte den gældende regulering, og som vil kunne anvendes også under øgede fremtidige indsatskrav. Kristensen & Knudsen (2022) har således identificeret flere problemstillinger i forbindelse med en indeksbaseret regulering. Det drejer sig bl.a. om anvendelse af virkemidlet mellemafgrøder, som er nedmuldet før satellitmålingerne gennemføres, om hvordan vinterraps kan indgå, samt hvordan majs og efterafgrøder i majs kan håndteres. Hertil kommer problemstillinger vedr. anvendelse af virkemidler som f.eks. kvotereduktion og præcisionslandbrug.

Det vurderes dog, at satellitmålinger i en fremtidig regulering kan medvirke til, at reguleringen gøres mere fleksibel. Potentielt vil satellitmålinger f.eks. kunne bestemme biomassen i efterafgrøder, så disse tillægges en effekt uden hensyntagen til, om de er etableret inden et gældende datokrav. Samtidigt vil man ud fra satellitmålinger kunne vurdere, om f.eks. ukrudt og spildkorn har samme kvælstofoptag og dermed forventet tilsvarende udvaskningsreducerende effekt. NDVI vil desuden eventuelt kunne vurdere biomassen i tidligt sået vintersæd, igen med henblik på at kunne fjerne krav om etablering inden en given dato. NDVI forventes således at kunne anvendes til vurdering inden for visse virkemidler under en fremtidig målrettet regulering. Modsat hvad der har været gældende i pilotprojektet vurderes der dog ikke at skulle være en 1:1 tilgang ud fra NDVI, således at f.eks. vintersæd med en given NDVI kan erstatte en efterafgrøde med samme NDVI.

## Eftervirkning

I den nugældende regulering fratrækkes en eftervirkning på 17 eller 25 kg N/ha af efterafgrøder dyrket på bedrifter med tilførsel af hhv. under og over 80 kg N/ha i organisk gødning (Landbrugsstyrelsen, 2021). Hvis efterafgrøder i en indeksbaseret regulering erstattes af f.eks. frøgræsudlæg, ukrudt og spildkorn eller normalt sået vintersæd til opnåelse af et givent NDVI-krav, vil der ikke ske et fradrag i kvælstofkvoten i form af en eftervirkning.

For tidligt sået vintersæd har spørgsmålet om en eventuel eftervirkning tidligere været overvejet, men der er grundlæggende forskel på situationen for tidligt sået vintersæd og efterafgrøder. Ved dyrkning af efterafgrøder nedmuldes alt plantemateriale, som derefter omsættes, hvilket kan øge udvaskningen i de efterfølgende år. Ved tidligt sået vintersæd høstes afgrøden, hvorved hovedparten af kvælstoffet fjernes fra marken. På den baggrund vurderede Thomsen et al. (2014), at en nedsættelse af kvælstofnormen i form af en eftervirkning ikke ville kunne begrundes i mer-mineralisering ved tidlig såning af vinterhvede som virkemiddel.

Hvis efterafgrøder erstattes af vintersæd, frøgræsudlæg og ukrudt og spildkorn vil gødningstilførslen potentielt kunne stige, da de anvendte alternativer ikke fratrækkes en eftervirkning inden for de nuværende rammer. Dette vil alt andet lige indebære risiko for øget udvaskning, hvis omfang vil afhænge af marginaludvaskningen af den/de afgrøder, der anvendes (Børgesen et al., 2020).

I bestillingen efterspørges en vurdering af, hvordan en eftervirkning bør fastsættes i en ordning som pilotprojektet. Det kan fagligt være vanskeligt at begrunde en eftervirkning for de alternativer, der i pilotprojektet kan erstatte krav om efterafgrøder. Som anført ovenfor vurderes der ikke at være en eftervirkning af tidligt sået vintersæd, og det samme vil være gældende for vintersæd sået til normal tid. Anvendes frøgræsudlæg til opfyldelse af NDVI-kravet vil der ikke være en faglig begrundelse for en eftervirkning i den efterfølgende vækstsæson, hvor frøgræsset er hovedafgrøden. Potentielt kan kvælstofoptagelsen om efteråret i ukrudt og spildkorn være betydelig, og optagelsen kan i nogle tilfælde være på samme niveau som efterafgrøder (Vogeler et al., 2021). Denne situation vil være sammenlignelig med efterafgrøder, hvilket vil kunne berettige en eftervirkning.



Alt i alt vurderes, at det ikke umiddelbart er muligt at indikere, hvordan eftervirkning bør fastsættes i en indeksbaseret regulering. Den nuværende eftervirkning er knyttet til efterafgrøder, og i det omfang, efterafgrøder erstattes af andre afgrøder, kan der ikke generelt argumenteres for, at eftervirkningen skal opretholdes.

## Punkt A

*Er års-variationen og dermed usikkerheden i målte afgrødeindeks-værdier større end variationen og usikkerhederne mellem afgrøder, og er disse variationer mellem år og afgrøder i samme størrelsesorden som års- og afgrøde-variationen i kvælstofoptag og udvaskningsreducerende effekt? Denne sammenligning kan med fordel tage udgangspunkt i variationskoefficienten/den relative standardafvigelse eller et lignende relevant statistisk redskab.*

### Svar

Standardafvigelsen på NDVI værdier på markniveau i perioden fra 16. til 31. oktober 2020 og 2021 på de tilmeldte arealer i pilotprojektordningen var henholdsvis 0,14 og 0,16. Standardafvigelsen inden for de enkelte afgrøder var i 2020 fra 0,04 til 0,14 og i 2021 fra 0,03 til 0,20 (Kristensen & Knudsen, 2022). Baseret på datamaterialet fra de tilmeldte landmænd i pilotprojektet, er der således intet, der tyder på, at variationen mellem afgrøder inden for et enkelt år varierer mere eller mindre end standardafvigelsen mellem år. Datamaterialet er begrænset, og det vil være ønskeligt med mere data for bedre at kunne beskrive variation og usikkerhed i målingerne.

Det skal dog nævnes, at der for enkelte afgrøder kun er meget få observationer inden for det enkelte år, og markerne derfor ikke nødvendigvis repræsenterer et gennemsnit af alle marker med samme afgrøde.

## Punkt B

*En drøftelse af hvordan øgede kvælstofpriser og dermed ændrede økonomisk optimal kvælstoftilførsel kan forventes at påvirke afgrødeindeks, samt hvordan sådanne faktorer kan inddrages i en afgrødeindeks baseret regulering.*

### Svar

Øgede kvælstofpriser og ændrede bytteforhold mellem gødning og afgrøde vil influere på den økonomisk optimale kvælstoftilførsel. Ligeledes kan reduceret kvælstoftilførsel under nugældende regulering anvendes som alternativ til efterafgrøder (Landbrugsstyrelsen, 2021), og reduceret kvælstofkvote må forventes at blive mere udbredt under de kommende års stigende indsatskrav. Gentagen reduktion af tilførsel af kvælstof må forventes over tid at kunne resultere i marginalt lavere NDVI om efteråret. En indeksbaseret regulering vil således skulle håndtere, at en lav NDVI kan skyldes reduceret kvælstofkvote, hvorfor der kan være behov for en sammenhæng mellem NDVI og reduceret kvælstofkvote. Kravet til NDVI vil derfor skulle justeres i det omfang, reduceret kvote anvendes som virkemiddel. Sammenhængen er ikke kvantificeret, og det er uklart, hvordan reduceret kvote kan indgå i en indeksbaseret regulering.

## Referencer

- Børgesen, C.D., Sørensen, P., Blicher-Mathiesen, G., Olesen, J.E., Kudsk, P., Hutchings, N.J., Jacobsen, B.H., Ørum, J.E. 2020. Reduceret tilførsel af mineralsk kvælstofgødning. I: Eriksen, J., Thomsen, I.K., Hoffmann, C.C., Hasler, B., Jacobsen, B.H. (redaktører). Virkemidler til reduktion af kvælstofbelastningen af vandmiljøet. Aarhus Universitet. DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug. 452 s. – DCA rapport nr. 174, pp. 221- 241. <https://dcapub.au.dk/djfpdf/DCArapport174.pdf>
- Børgesen, C.D., Sørensen, P., Blicher-Mathiesen, G., Kristensen, K.M., Pullens, J.W.M., Zhao, J., Olesen, J.E. 2019. NLES5 – An empirical model for predicting nitrate leaching from the root zone of agricultural land in Denmark. DCA report no. 163. <https://dcapub.au.dk/djfpublikation/index.asp?action=show&id=1313>
- Gislum, R., Jørgensen, R.N. 2018. Valg af biomasseindeks i pilotprojekt om efterafgrøde/biomasse. Notat til Landbrugsstyrelsen 9. november 2018. [https://pure.au.dk/portal/files/136122808/Levering\\_Valg\\_af\\_biomasseindeks.pdf](https://pure.au.dk/portal/files/136122808/Levering_Valg_af_biomasseindeks.pdf)
- Gislum, R., Thomsen, I. K., Hansen, E. M., Mortensen, A. K., Larsen, R., Olesen, J. E. 2021. Analyser i pilotprojekt om biomasse på baggrund af data fra forsøgsår 2020. Notat landbrugsstyrelsen 3. maj 2021. [https://pure.au.dk/portal/files/216287876/Levering\\_Analyser\\_i\\_pilotprojekt\\_om\\_biomasse\\_p\\_baggrund\\_af\\_data\\_fra\\_fors\\_og\\_s\\_r\\_2020.pdf](https://pure.au.dk/portal/files/216287876/Levering_Analyser_i_pilotprojekt_om_biomasse_p_baggrund_af_data_fra_fors_og_s_r_2020.pdf)
- Hansen, E.M., Thomsen, I.K. 2019. Intelligente virkemidler til reduktion af kvælstofudvaskningen (VIRKN). Oversigt over Landsforsøgene 2019, pp. 170-173. SEGES.
- Hansen, E.M., Thomsen, I.K., 2020. Fastsættelse af kvotereduktion ved etablering af efterafgrøder senere end 20. august og omregningsfaktor ved såning tidligere end 20. august. Notat til Landbrugsstyrelsen 1. juli 2020. [https://pure.au.dk/portal/files/191523965/Levering\\_efterafgr\\_eder\\_tidlig\\_sen\\_etablering.pdf](https://pure.au.dk/portal/files/191523965/Levering_efterafgr_eder_tidlig_sen_etablering.pdf)
- Hansen, E.M., Thomsen, I.K., 2022. Beregning af kvotereduktion ved sen etablering af efterafgrøder. Notat til Landbrugsstyrelsen. Under udarbejdelse.
- Hansen, E.M., Thomsen, I.K., Kudsk, P., Jørgensen, L.N., Strandberg, B., Bruus, M., Rubæk, G.H., Hutchings, N.J., Pedersen, M.F. 2020. Efterafgrøder. I: Eriksen, J., Thomsen, I.K., Hoffmann, C.C., Hasler, B., Jacobsen, B.H. (redaktører). Virkemidler til reduktion af kvælstofbelastningen af vandmiljøet. Aarhus Universitet. DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug. 452 s. – DCA rapport nr. 174, pp. 33-58. <https://dcapub.au.dk/djfpdf/DCArapport174.pdf>
- Kristensen, N. H., Knudsen, L. 2021. Pilotprojekt om biomasse og efterafgrøder – Resultater fra 2020. Foreløbig rapport fra SEGES, foråret 2021, 21 sider.
- Kristensen, N. H., Knudsen, L. 2022. Pilotprojekt om biomasse og efterafgrøder. Rapport fra SEGES Innovation. Februar 2022, 24 sider.
- Landbrugsstyrelsen 2020. Vejledning til pilotprojektordning om biomasse og efterafgrøder. [https://lbst.dk/fileadmin/user\\_upload/NaturErhverv/Filer/Tvaergaende/Praecisionslandbrug/Vejledning\\_til\\_pilotprojektordning\\_om\\_biomasse\\_og\\_efterafgroeder\\_2020.pdf](https://lbst.dk/fileadmin/user_upload/NaturErhverv/Filer/Tvaergaende/Praecisionslandbrug/Vejledning_til_pilotprojektordning_om_biomasse_og_efterafgroeder_2020.pdf)
- Landbrugsstyrelsen 2021. Vejledning om pligtige og husdyrefterafgrøder og dyrkningsrelaterede tiltag. Planperioden 1. august 2021 til 31. juli 2022. Miljø- og Fødevareministeriet, marts 2020. [https://lbst.dk/fileadmin/user\\_upload/NaturErhverv/Filer/Landbrug/Efterafgroeder\\_og\\_jordbe\\_arbejdning/Vejledning\\_efterafgroeder\\_og\\_dyrkningsrelaterede\\_tiltag\\_2version\\_juni\\_2021.pdf](https://lbst.dk/fileadmin/user_upload/NaturErhverv/Filer/Landbrug/Efterafgroeder_og_jordbe_arbejdning/Vejledning_efterafgroeder_og_dyrkningsrelaterede_tiltag_2version_juni_2021.pdf)

- Li, X., Petersen, S.O., Sørensen, P., Olesen, J.E. 2015. Effects of contrasting catch crops on nitrogen availability and nitrous oxide emissions in an organic cropping system. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 199, 382-393.
- Thomsen, I.K., Gislum, R., Hansen, E.M., Olesen, J.E. 2019. Overordnet vurdering af risiko for merudvaskning i pilotprojektordning om biomasse. Notat til Landbrugsstyrelsen 1. juli 2019. [https://pure.au.dk/portal/files/157977065/Risikovurdering\\_for\\_merudvaskning\\_i\\_pilotprojekt\\_biomasse\\_Juli\\_2019.pdf](https://pure.au.dk/portal/files/157977065/Risikovurdering_for_merudvaskning_i_pilotprojekt_biomasse_Juli_2019.pdf)
- Thomsen, I.K., Hansen, E.M., Kudsk, P., Jørgensen, L.N., Bruus, M., Strandberg, B., Rubæk, G.H., Hutchings, N.J., Pedersen, M.F. 2020. Tidlig såning af vintersæd. I: Eriksen, J., Thomsen, I.K., Hoffmann, C.C., Hasler, B., Jacobsen, B.H. (redaktører). *Virkemidler til reduktion af kvælstofbelastningen af vandmiljøet*. Aarhus Universitet. DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug. 452 s. – DCA rapport nr. 174, pp. 87-100. <https://dcapub.au.dk/djfpdf/DCArapport174.pdf>
- Thomsen, I.K., Kristensen, I.T., Bach, E.O., Hansen, E.M., Vinther, F.P., Jørgensen, L.N., Kudsk, P. 2017. Evaluering af nyt alternativ i gødskningsloven "tidlig såning", som blev introduceret med virkning fra planåret 2014/15. Notat til Landbrugs- og Fiskeristyrelsen 7. februar 2017. [https://pure.au.dk/portal/files/117343539/Evaluering\\_af\\_virkemidlet\\_tidlig\\_saaning\\_besvarelse\\_3.pdf](https://pure.au.dk/portal/files/117343539/Evaluering_af_virkemidlet_tidlig_saaning_besvarelse_3.pdf)
- Thomsen, I.K., Vinther, F.P., Hansen, E.M., Jørgensen, L.N., Kudsk, P. 2014. Notat vedrørende baggrundsdata til brug for den fremtidige arealregulering – besvarelse af spørgsmål A1-10. Notat til NaturErhvervstyrelsen 5. marts 2014. [http://pure.au.dk/portal/files/83234053/Notat\\_vedr\\_Baggrundsdata\\_arealregulering\\_A1\\_10\\_050314.pdf](http://pure.au.dk/portal/files/83234053/Notat_vedr_Baggrundsdata_arealregulering_A1_10_050314.pdf)
- Vogeler, I., Jensen, J.L., Thomsen, I.K., Labouriau, R., Hansen, E.M. 2021. Fertiliser N rates interact with sowing time and catch crops in cereals and affect yield and nitrate leaching. *European Journal of Agronomy* 124, 126244.
- Zhao, J., De Notaris, C., Olesen, J.E. 2020. Autumn-based vegetation indices for estimating nitrate leaching during autumn and winter in arable cropping systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 290, 106786.