

# EFFEKT AF PRÆCISIONSJORDBRUG PÅ UDVASKNING AF KVÆLSTOF OG EMISSION AF KLIMAGASSER



**Titel**

Effekt af præcisionsjordbrug på ud-vaskning af kvælstof og emission af klimagasser

**Forfattere**

Chefkonsulent Leif Knudsen, PlantInnovation, SEGES  
Konsulent Kasper Stougaard, PlantInnovation, SEGES  
Landskonsulent Søren Kolind Hvid, PlantInnovation, SEGES

**Udgiver**

SEGES  
Landbrug og Fødevarer F.m.b.A.  
Agro Food Park 15, Skejby  
8200 Aarhus N  
Telefon 8740 5000 | Fax 8740 5010

|            |   |           |
|------------|---|-----------|
| <b>1</b>   | <b>INDLEDNING .....</b>   | <b>3</b>  |
| <b>2</b>   | <b>BETYDNING AF UENS TILFØRSEL AF KVÆLSTOF FOR NÆRINGSSTOFUDNYTTELSE OG KVÆLSTOFTAB .....</b>                                       | <b>4</b>  |
| <b>2.1</b> | <b>EFFEKT AF DOBBELT OVERLAP .....</b>  | <b>5</b>  |
| <b>2.2</b> | <b>BETYDNING AF VARIATIONSKOEFFICIENTEN VED UDSPREDNING AF GØDNING .....</b>  | <b>6</b>  |
| <b>2.3</b> | <b>EFFEKT AF OVERLAP OG VARIATIONSKOEFFICIENT PÅ UDVASKNINGEN AF KVÆLSTOF .....</b>   | <b>7</b>  |
| <b>3</b>   | <b>OVERLAP VED UDBRINGNING AF HUSDYR- OG HANDELSGØDNING .....</b>   | <b>9</b>  |
| <b>3.1</b> | <b>OVERLAP VED BOMSPREDERE .....</b>  | <b>11</b> |
| <b>3.2</b> | <b>REDUKTION AF OVERLAP VED UDSPREDNING MED BOM .....</b>   | <b>12</b> |
| <b>3.3</b> | <b>OVERLAP VED SPREDNING AF GØDNING MED CENTRIFUGALSPREDERE .....</b>   | <b>14</b> |
| <b>3.4</b> | <b>VURDERING AF DET SAMLEDE OVERLAP .....</b>   | <b>14</b> |
| <b>4</b>   | <b>TILFØRSEL AF KVÆLSTOF EFTER AFGRØDENS BEHOV PÅ MARKNIVEAU OG POSITIONSNIVEAU .....</b>   | <b>14</b> |
| <b>4.1</b> | <b>POSITIONSBESTEMT TILFØRSEL AF KVÆLSTOF I HANDELSGØDNING .....</b>  | <b>15</b> |
| <b>4.2</b> | <b>MERE PRÆCIS VÆRDISÆTNING AF KVÆLSTOF TILFØRT MED HUSDYRGØDNING .....</b>   | <b>17</b> |
| <b>5</b>   | <b>EFFEKT AF JÆVN FORDELING AF HANDELS- OG HUSDYRGØDNING OG TILFØRSEL I FORHOLD TIL BEHOVET PÅ UDLEDNINGEN AF KLIMAGASSER .....</b> | <b>18</b> |
| <b>5.1</b> | <b>EFFEKT AF MERE PRÆCIS TILFØRSEL AF KVÆLSTOF I HANDELS- OG HUSDYRGØDNING I FORHOLD TIL BEHOVET .....</b>                          | <b>20</b> |
| <b>5.2</b> | <b>EFFEKT PÅ KLIMAGASUDLEDNING .....</b>  | <b>20</b> |

## SAMMENDRAG

I forbindelse med krav om at reducere udslippet af klimagasser fra landbruget har SEGES foretaget en analyse af effekten af præcisionslandbrug på udledningen af drivhusgasser. Udslippet af drivhusgasser vurderes at kunne reduceres med 0,3 til 1 pct. af udledningen ved dyrkning af vinterhvede. Ser man på udslippet pr. produceret ton vinterhvede reduceres udslippet i niveauet 6,7 til 12,5 pct., fordi præcisionsjordbrug samtidig forøger udbyttet. Selvom præcisionsjordbrug ikke har en afgørende effekt på udslippet af drivhusgasser, så bør det anvendes på grund af effekten på udbytte, kvælstofudvaskning og ressourceudnyttelse generelt. Samtidig giver præcisionsjordbrug i kraft af digital logning af tildelingsfiler af gødning og pesticider, udbytter mv. en bedre sporbarhed af produkterne, og bedre mulighed for at dokumentere en bæredygtig produktion.

Præcisionslandbrug kan bestå af mange elementer, men i analysen her er fokuseret på, at kvælstof i både husdyr- og handelsgødning tildeles i overensstemmelse med afgrødens behov. I dette indgår forbedring af udstyr til udspreddning af handels- og husdyrgødning, så udspreddning af dobbelt mængde gødning noget sted i marken undgås (overlap). Det sker ved at styre køreafstanden med RTK-GPS og anvende udspreddningsudstyr med sektionskontrol, kilestyring mv. Præcisionsjordbrug omfatter her også, at kvælstofbehovet fastlægges præcist på markniveau efter hensyntagen til udbyttet, og tildeling af kvælstof sker positionsbestemt indenfor marken efter variationen i biomasse målt fra satellitter eller med traktormonterede sensorer. Endelig er en mere præcis bestemmelse af effekten af tilført husdyrgødning ved brug af analyser og beregning af markeffekt ud fra klimaet omkring udbringning indregnet.

Effekten af præcisionsjordbrug på udledning af klimagasser består i, at kvælstofudvaskningen reduceres. Dette giver en direkte om end beskedent effekt på drivhusgasudledningen. Større effekt har præcisionslandbrug på klimagasudledningen pr. produceret ton korn, fordi præcisionsjordbrug hæver udbyttet.

Betydningen for udbytte og kvælstofudvaskning af uens fordeling af gødning og dobbelt overlap ved udspreddning er analyseret på baggrund af forsøg med stigende mængder kvælstof. For udvaskning er samtidig inddraget danske og svenske udvaskningsforsøg. Tidligere er forekommet overlap ved udspreddning af husdyrgødning, fordi der blev kørt med mindre afstand end bombredden på grund af, at køresporene lå for tæt. Det vurderes at have givet anledning til et overlap på 5 pct. Ved brug af RTK-GPS kan dette overlap stort set elimineres. Ved bomspredere opstår der overlap ved kile og foragre, der ikke er vinkelret på køretretningen. Dette overlap fordobles, hvis bombredden fordobles. Det samlede areal med dobbelt overlap er i beregningerne antaget at udgøre 5-10 pct. af det samlede areal. Eliminering af dette overlap er beregnet til at forøge udbyttet med 0,7 hkg pr. ha og reducere udvaskningen med 0,7-1,9 kg kvælstof pr. ha. Mere præcis spredning af handelsgødning med centrifugalspredere med sektionskontrol, kilestyring mv. er beregnet til at give en udbytteforøgelse på 1,0 hkg pr. ha og en reduktion i udvaskningen på 1 kg kvælstof pr. ha.

Variationskoefficienten i kvælstofbehovet mellem marker er ud fra landsforsøgene fundet til 25 pct. Kan variationen forklares bedre end i dag ved at inddrage satellitbilleder mv. kan der potentielt opnås et merudbytte på 0,5 til 1,0 hkg pr. ha og udvaskningen reduceres med fra 0,5 til 1,0 kg kvælstof pr. ha. Kvælstofbehovet varierer mindst lige så meget indenfor marken som mellem marker. Merudbyttet for positionsbestemt tildeling ud fra variationen af biomasse inden for marken målt fra satellitter eller traktorborne sensorer er fundet til at være fra 0 til 1 hkg pr. ha, mens udvaskningsreduktionen er sat til mellem 1 og 3 kg kvælstof pr. ha.

Ud fra tidligere undersøgelser og landsforsøg antages variationskoefficienten på forskellen mellem den forventede og faktisk tilførte effektive kvælstofmængde med tilført husdyrgødning at være 50 procent. Variationskoefficienten kan reduceres ved at bestemme indholdet af kvælstof i husdyrgødning ved analyser fra

hver tank og ved at beregne udnyttelsesprocenten af kvælstof i husdyrgødning ud fra gødningstype, indhold, udbringningsteknik, afgrøde og udbringningstidspunkt samt de klimatiske forhold omkring udbringning. Det kan forbedre præcisionen i fastsættelsen af den effektivt tilførte kvælstofmængde. Ved at anvende dette systematisk vurderes det, at udbyttet kan hæves med 1,0 til 2,0 hkg pr. ha og udvaskningen kan reduceres med 2,0 til 3,0 kg kvælstof pr. ha.

Klimaeffekten af reduceret kvælstofudvaskning udgør 5,4 kg CO<sub>2</sub>-ækv. pr. ha vinterhvede ved lavt scenarie og 18,9 kg CO<sub>2</sub>-ækv. pr. ha ved højt scenarie. Klimabelastningen pr. ha vinterhvede reduceres således med henholdsvis 0,3 % og 1,0 %. Det er således næsten kun det øgede udbytte, der påvirker klimabelastningen pr. produceret enhed. Jævn fordeling af handels- og husdyrgødning i vinterhvede kan reducere udledningen af drivhusgasser pr. produceret enhed med 6,7 % ved lavt scenarie og med 12,5 % ved højt scenarie.

## 1 INDLEDNING

Danmark har et krav om at reducere klimagasser for ikke-kvotebelagte sektorer på 39 % frem til 2030 i forhold til 2005. Danmark har fået lov til at anvende kulstoflagring i jorden på maksimalt 4 %, derudover er der mulighed for at købe af kvoter i kvotesektoren på 2%. Endelig forventes en reduktion med igangsatte tiltag på 22 %. Tilbage er en reduktion i klimagasser på 11 – 13 %, hvor det må forventes, at landbruget skal bidrage til reduktionen.

Ud over kulstoflagring i jord, er der for nuværende relativt få virkemidler i planteproduktionen, der har direkte effekt på EU's målsætning for reduktion af klimagasser. Den måde EU opgør effekten for målopfyldelse på klimagasreduktionen for planteproduktionen frem til 2030 er gennem lattergas-emissionen (N<sub>2</sub>O), som er direkte korreleret til gødningsforbruget. For at bidrage til opnåelse af EU's målsætning om reduktion af klimagasser, skal der således fokus på reduktionen af N<sub>2</sub>O pr. ha.

Reduktion af N<sub>2</sub>O pr. ha vil medvirke til, at Danmark kan nå det EU-fastsatte nationale danske mål, og at en opgørelse pr. produceret enhed kan medvirke til at dansk-producerede fødevarer, der er baseret på dansk-producerede planteprodukter, fortsat har et af verdens mindste bidrag til klimagasemissionen pr. produceret enhed.

Emissionen af N<sub>2</sub>O fra landbrugsjorden er ifølge de aktuelt anvendte beregningsmetoder proportionalt med kvælstofforbruget og med tab af kvælstof ved nitratudvaskning.

I denne rapport fokuseres alene på, hvordan en større præcision ved håndtering af kvælstof i handels- og husdyrgødning kan påvirke lattergasudledningen. Med præcision menes i denne forbindelse:

- Omfanget af overlap og størrelsen af variationskoefficienten ved udspreddning af handels- og husdyrgødning
- Tilførsel af gødning i overensstemmelse med afgrødens behov både på markniveau og indenfor marken
- Præcisionen ved fastsættelse af effekt af husdyrgødningen ved brug af analyser og beregning af ammoniakfordampning ved udbringning ud fra aktuelle vejrdata

Der findes ikke mange data, der præcist kan fastlægge størrelsen af overlap og variationskoefficienter ved den nuværende praksis for udbringning af gødning. Der findes tilsvarende ikke mange data, der viser variationen i udnyttelsen af husdyrgødning. Derfor bygger rapporten her på en række antagelser, der bunder i

enkle beregninger og praktiske erfaringer, der ikke kan angive konkrete effekter af teknologi, der kan forbedre præcisionen, men som er robuste nok til at vise potentialet.

## 2 BETYDNING AF UENS TILFØRSEL AF KVÆLSTOF FOR NÆRINGSSTOFUDNYTTELSE OG KVÆLSTOFTAB

Ved håndtering af kvælstof i markbruget fastsætter man et *kvælstofbehov* for marken. Dette behov kan helt eller delvist opfyldes ved at tilføre husdyrgødning, hvor der fastsættes en udnyttelsesprocent for kvælstof. Udnyttelsesprocenten udtrykker effekten af kvælstof i husdyrgødning i procent af virkningen i handelsgødning. Resten af kvælstofbehovet dækkes af handelsgødning. I stedet for at sætte et kvælstofbehov for marken kan kvælstofbehovet fastsættes for den enkelte position i marken.

Man regner normalt med, at udspredding af gødning sker jævnt, så kvælstofbehovet dækkes overalt på marken, eller at gødningen udspreddes så det rammer behovet på den enkelte position (positionsbestemt tilførsel af gødning).

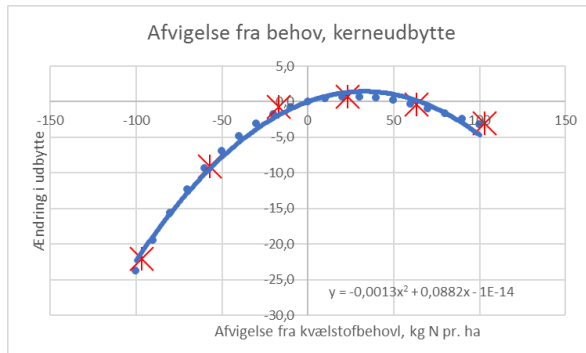
I praksis vil husdyrgødning og handelsgødning ikke blive spredt jævnt eller spredt nøjagtigt i forhold til den planlagte positionsbestemte gødning. Det vil sige, at kvælstoftilførslen afviger fra kvælstofbehovet. Nogle områder i marken vil få tilført mere kvælstof end behovet andre områder mindre. Hvis udspredding sker med en spredebom kan afvigelsen gå fra dobbelt tilførsel i forhold til behovet til ingen tilførsel. I princippet kan der også ske en tredobbelt tilførsel i nogle områder, men det ses der bort fra her. Ved centrifugalspredere kan afvigelsen også gå fra 0 til dobbeltmængde. Se afsnit 3.

Den uens tildeling af kvælstof påvirker udbytte, kvælstofudbytte og kvælstoftabet. Kvælstoftab og -udvaskning beregnes i et særskilt afsnit.

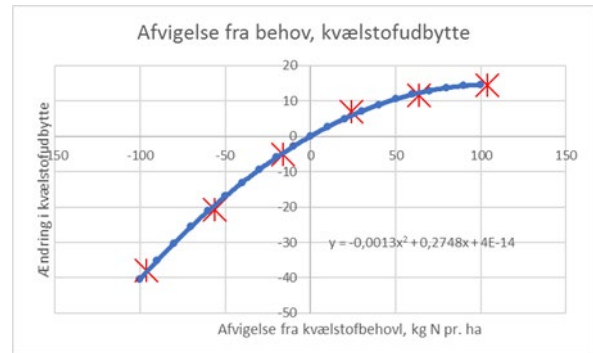
Der er gennemført en beregning af, hvad uens spredning herunder overlap betyder ud fra 13 forsøg med stigende mængder kvælstof til vårbyg i perioden 2004-2017. Forsøgene er udvalgt efter, at de skal have en optimal kvælstofmængde mellem 90 og 110 kg kvælstof pr. ha, og udbyttet ved optimum skal være over 50 hkg pr. ha. Kriterierne er valgt, fordi effekten af dobbelt overlap ønskes beregnet, og vårbygforsøgene er gennemført med 200 kg kvælstof som det højeste kvælstofniveau. Den optimale kvælstofmængde er lavere end gennemsnittet for vårbyg (130 kg kvælstof pr. ha) og noget lavere end for vinterhvede (180 kg kvælstof pr. ha). Derfor giver det udvalgte datasæt formodentligt et minimumsskøn for effekt af overlap og variation i den udspreddte kvælstofmængde.

For hvert forsøg er udbyttet og kvælstofbortførslen med kerne beregnet ud fra afvigelsen fra den optimale kvælstofmængde i hvert enkelt forsøg. Effekten af afvigelser fra den optimale kvælstofmængde er beregnet som gennemsnittet af afvigelserne fra enkeltforsøgene.

Af figur 2.1 ses, at udbyttet falder betydeligt mere ved mindre tilførsel end den optimale kvælstofmængde end udbyttet stiger, når der tilføres mere kvælstof. Ved tilførsel af mere kvælstof end optimum fås et fald i udbyttet til trods for, at der kun i 2-3 af de 13 forsøg har været betydelige lejesæd. Kurvens stærke krumning betyder, at der vil være en betydelig negativ effekt af overlap af gødning, hvis gødningsmængden ved overlap skal spares på resten af arealet.

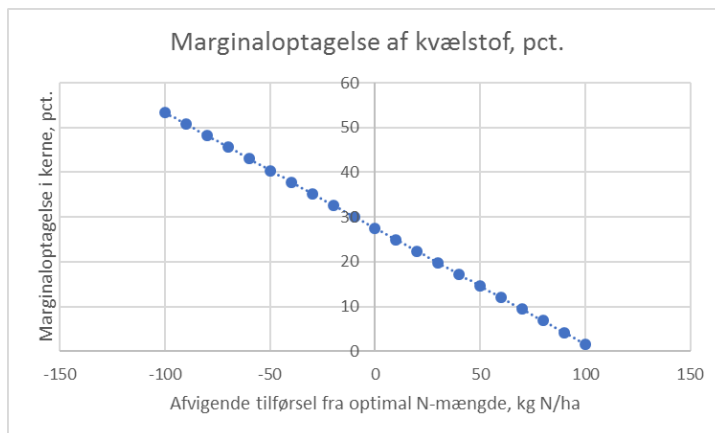


Figur 2.1. Ændring i kerneudbyttet ved afvigelser fra den optimale kvælstofmængde (sat til 0). Røde krydser angiver de målte værdier



Figur 2.2. Ændring i kvælstofbortførslen ved afvigelser fra den optimale kvælstofmængde (sat til 0). Røde krydser angiver de målte værdier

I figur 2.2 ses tilsvarende effekten på bortførslen af kvælstof ved afvigelse fra optimum. Sammenlignet med udbyttekurven er kvælstofbortførslen mere retlinet, hvilket betyder at kvælstofoverskuddet påvirkes relativt mindre af overlap end udbyttet. Bortførslen pr. kg N falder med stigende tilførsel. Det fremgår af figur 2.3. Ved tilførsel af den optimale kvælstofmængde er marginaloptagelsen af kvælstof i kerne godt 30 pct. Ved dobbelt overlap, dvs. tilførsel af 100 kg kvælstof mere end behovet, er marginaloptagelsen kun 2 pct. Udover optagelse i kerne sker der også en optagelse i halm, rødder mv.

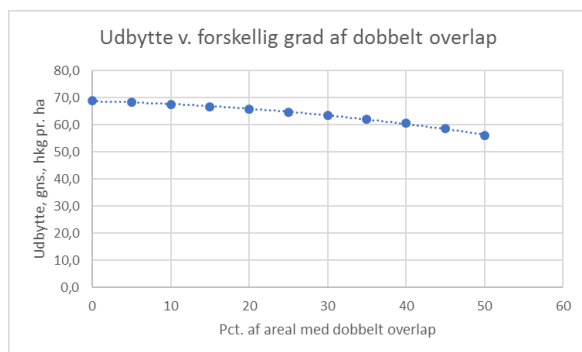


Figur 2.3. Marginaloptagelse af kvælstof i kerne. Beregnet fra 13 forsøg i vårbyg 2004-2018

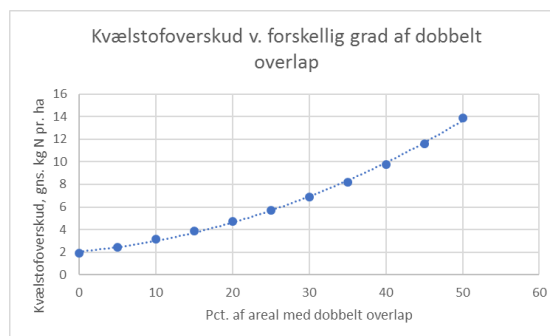
## 2.1 Effekt af dobbelt overlap

Med dobbelt overlap menes her, at der på en del af arealet køres den dobbelte kvælstofmængde ud. Ud fra resultaterne af beregningerne i vårbygforsøgene, er effekten af forskellige grader af dobbelt overlap beregnet for udbytte, kvælstofbalance og -udvaskning. Forudsætningen i beregningen er, at der bruges den samme kvælstofmængde på arealet i alle situationer. Dvs. den ekstra kvælstofmængde, der tildeles i overlappet skal reduceres på resten af arealet. Der er set bort fra, at når kvælstofmængden reduceres på resten af arealet, vil kvælstof tilført i det dobbelte overlap også være mindre.

Resultaterne fremgår af figur 2.4 og figur 2.5.



Figur 2.4. Effekt på udbyttet af stigende areal med dobbelt overlap (tilførsel af dobbelt mængde kvælstof)



Figur 2.5. Effekt på kvælstofoverskuddet af stigende areal med dobbelt overlap (tilførsel af dobbelt mængde kvælstof)

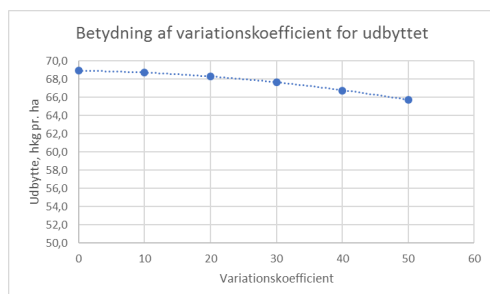
50 pct. dobbelt overlap betyder, at der tilføres dobbelt kvælstofmængde på 50 pct. af arealet, hvorfor der ikke er kvælstof tilbage til resten af arealet. Dette er en ekstrem situation, der ikke forekommer i praksis. Ved hhv. 5 og 10 pct. overlap, som er realistiske størrelser, falder udbyttet med hhv. 0,7 og 1,4 hkg pr. ha og kvælstofoverskuddet stiger med 0,6 og 1,2 kg kvælstof pr. ha.

## 2.2 Betydning af variationskoefficienten ved udspredding af gødning

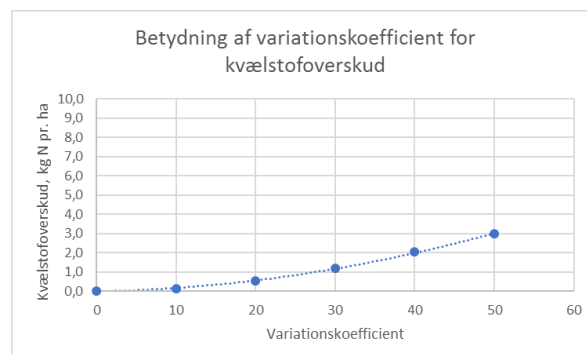
I afsnit 2.2 er behandlet betydningen af dobbelt overlap, dvs. tilførsel af dobbelt mængde kvælstof i nogle områder af marken typisk på overgang til foragre, kiler mv. Men det kan også være en generel variation i doseringen over marken. Det gælder både ved spredning med centrifugalspredere (handelsgødning) og ved spredning af husdyrgødning med slæbeslanger eller nedfældere (se afsnit 3).

Denne variation antages at være normalfordelt og variationen udtrykkes som variationskoefficienten, som er standardafvigelsen/middelværdien  $\times 100$ . Ud fra forskellige variationskoefficienter kan man beregne, hvor stor en del af marken, der får en given kvælstofmængde. Hvis den tilstræbte kvælstofmængde f.eks. er 100 kg kvælstof pr. ha og variationskoefficienten er 20 vil ca. 16 procent af marken statistisk set få under 80 kg kvælstof pr. ha, mens andre 16 pct. vil få mere end 120 kg kvælstof pr. ha.

Ud fra forsøgsresultater omtalt i afsnit 2.1 er betydningen for udbytte og kvælstofoverskud beregnet. Resultaterne fremgår af figur 2.6 og 2.7.



Figur 2.6. Sammenhæng mellem variationskoefficienten ved udspredding af gødning og udbyttet



Figur 2.7. Sammenhæng mellem variationskoefficienten ved udspredding af gødning og kvælstofoverskuddet

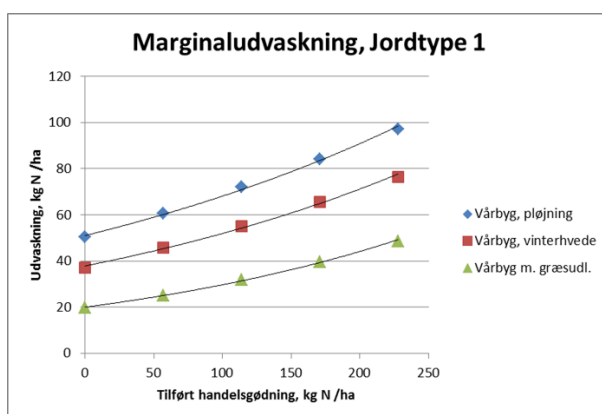


Udbyttet falder med stigende variationskoefficient. Udbyttetabet ved en variationskoefficient på 20 pct., som anses for almindeligt i praksis er 0,6 hkg pr. ha. Stiger den til 30 pct. øges udbyttetabet til 1,3 hkg pr. ha. Kvælstofoverskuddet ved en variationskoefficient på 20 pct. øger kvælstofoverskuddet med 0,5 kg kvælstof pr. ha, mens 30 pct. giver et meroverskud på 1,2 kg.

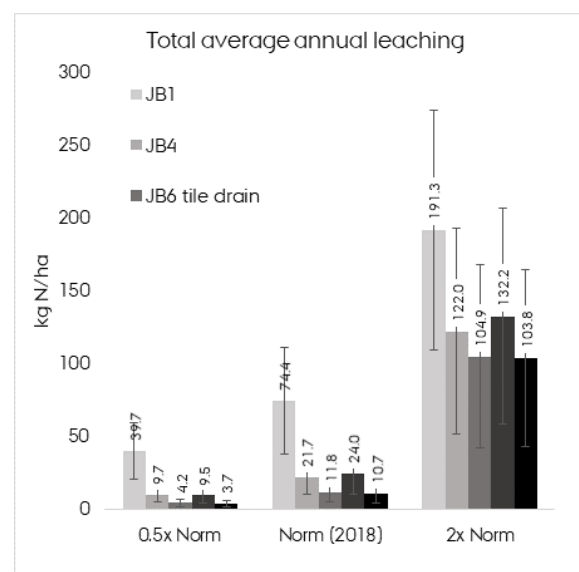
### 2.3 Effekt af overlap og variationskoefficient på udvaskningen af kvælstof

Sammenhængen mellem kvælstoftilførsel og udvaskning af kvælstof har været til stor debat i 2017 og 2018. Kvælstofudvaskningen beregnes i Danmark typisk med en enkel empirisk model (N-les4) eller med en mekanistisk mere kompliceret model, DAISY. Samtidig foreligger der efterhånden en række nyere danske og udenlandske forsøg, som belyser sammenhængen.

N-les4, der er udviklet af Aarhus Universitet viser typisk en næsten lineær sammenhæng mellem kvælstoftilførsel og kvælstofudvaskningen. Sammenhængen er forskellig for forskellige jordtyper og afgrøder, men er i alle tilfælde næsten lineært afhængigt af kvælstoftilførslen. Beregninger med DAISY viser typisk et forløb, hvor udvaskningen stiger meget ved tilførsel af større mængder kvælstof end afgrøden har behov for (Gyldengren, 2018).

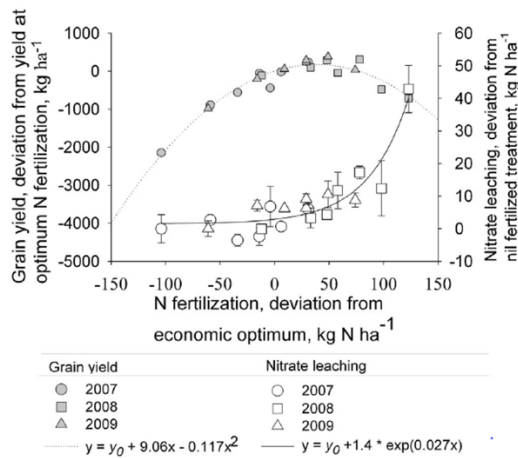


Figur 2.8. Marginaludvaskning beregnet med N-les4 på JB 1 ved forskellig efterårsbevoksning.

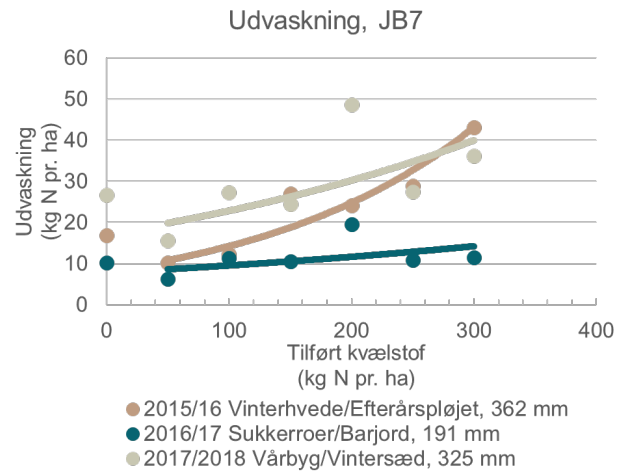


Figur 2.9. Kvælstofudvaskning ved forskellig tilførsel af kvælstof i forhold til norm. Modelberegnet med DAISY. Fra Jacob Gyldengren.

I svenske forsøg har man relateret kvælstofudvaskningen til behovet for kvælstof i hvert enkelt forsøg. Her har man generelt fundet en kraftig stigning i udvaskningen ved tilførsel af en kvælstofmængde større end behovet (Delin et. al., 2014). Dette fremgår af figur 2.10. I forsøg med måling af kvælstofudvaskning ved tilførsel af stigende mængder kvælstof, som SEGES har gennemført i de senere år, er der på lerjord kun fundet en begrænset stigning i udvaskningen selv ved tilførsel af høje kvælstofmængder (figur 2.11). Kvælstofbehovet i forsøgene har dog været højt, og der er ikke tilført op til dobbelt kvælstofmængde.



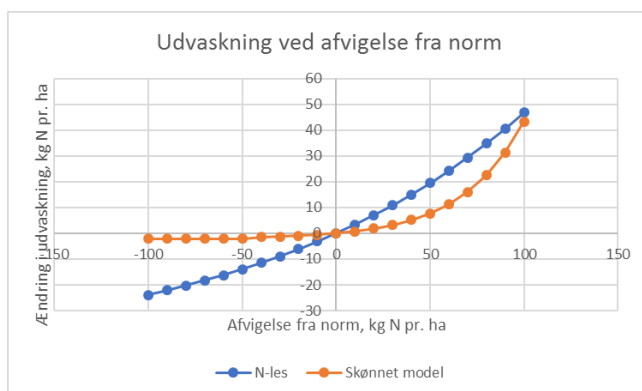
Figur 2.10. Udbytte og kvælstofudvaskning ved afvigende kvælstoftilførsel i forhold til kvælstofbehovet. Delin et. al. 2014



Figur 2.11. Resultater af måling af kvælstofudvaskning i 3 år på én lokalitet (Lolland). (Piil, 2018)

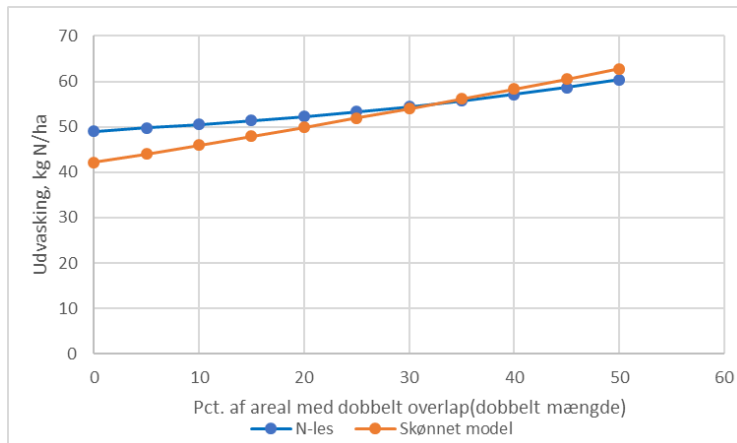
Effekten af reduktion af overlap og variationskoefficient ved udspredding af kvælstofgødning på udvaskningens størrelse afhænger af sammenhængen mellem kvælstoftilførsel og udvaskning. Anvendes N-les4 modellen, hvor udvaskningen stort set er lineært stigende med kvælstoftilførslen selv op til store mængder, til at beregne udvaskning, vil effekten af en jævn fordeling være meget begrænset. Anvender man de svenske forsøg eller den viste DAISY-beregning vil effekten være stor.

I det følgende er effekten af overlap og variationskoefficient ved udspredding beregnet med to modeller for sammenhæng mellem kvælstoftilførsel og udvaskning. Beregningen er foretaget med N-Les, hvor der for vårbyg er beregnet udvaskning med programmet Kalkule Mark (Hvid, 2015) ved tilførsel fra 0 op til dobbelt norm. Derudover er der fra SEGES' udvaskningsforsøg (figur 2.11), fra DAISY-beregningen (figur 2.9) og fra de svenske forsøg (figur 2.10) konstrueret en udvaskningskurve, hvor marginaludvaskningen stiger betydeligt mere end i N-les. Den skønnede model skal kun ses som et udtryk for, hvordan effekten af en mere "krum" udvaskningskurve og bør efterfølgende beregnes direkte ud fra udvaskningsforsøg. De anvendte udvaskningsfunktioner fremgår af figur 2.12.



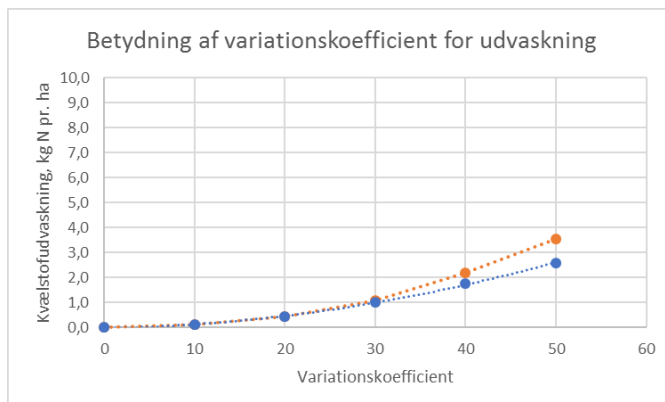
Figur 2.12. Sammenhængen mellem kvælstoftilførsel i forhold til norm og udvaskning baseret på N-les modellen og en skønnet model.

På tilsvarende måde som for udbytter og kvælstofoverskud er effekten af tilførsel af dobbelt kvælstofmængde i en del af marken beregnet. Ved at reducere overlap fra henholdsvis 5 og 10 pct. til 0 beregnes med N-les en reduktion af udvaskningen på 0,7 og 1,5 kg kvælstof pr. ha. Ud fra den skønnede udvaskningskurve beregnes tilsvarende en reduktion i udvaskningen på 1,9 og 3,8 kg kvælstof pr. ha.



Figur 2.13 Effekt på udvaskning af andelen af arealet med tilførsel af dobbelt kvælstofmængde (dobbelt overlap) ved brug af to udvaskningsmodeller.

Reduktion i variationskoefficienten giver for begge modeller kun en mindre reduktion i udvaskningen. Begge modeller viser, at udvaskningen kan reduceres i niveauet 0,5 kg kvælstof pr. ha, hvis variationskoefficienten kan reduceres fra 20 til 0 pct. og ca. 1 kg, hvis den kan reduceres fra 30 til 0 pct.

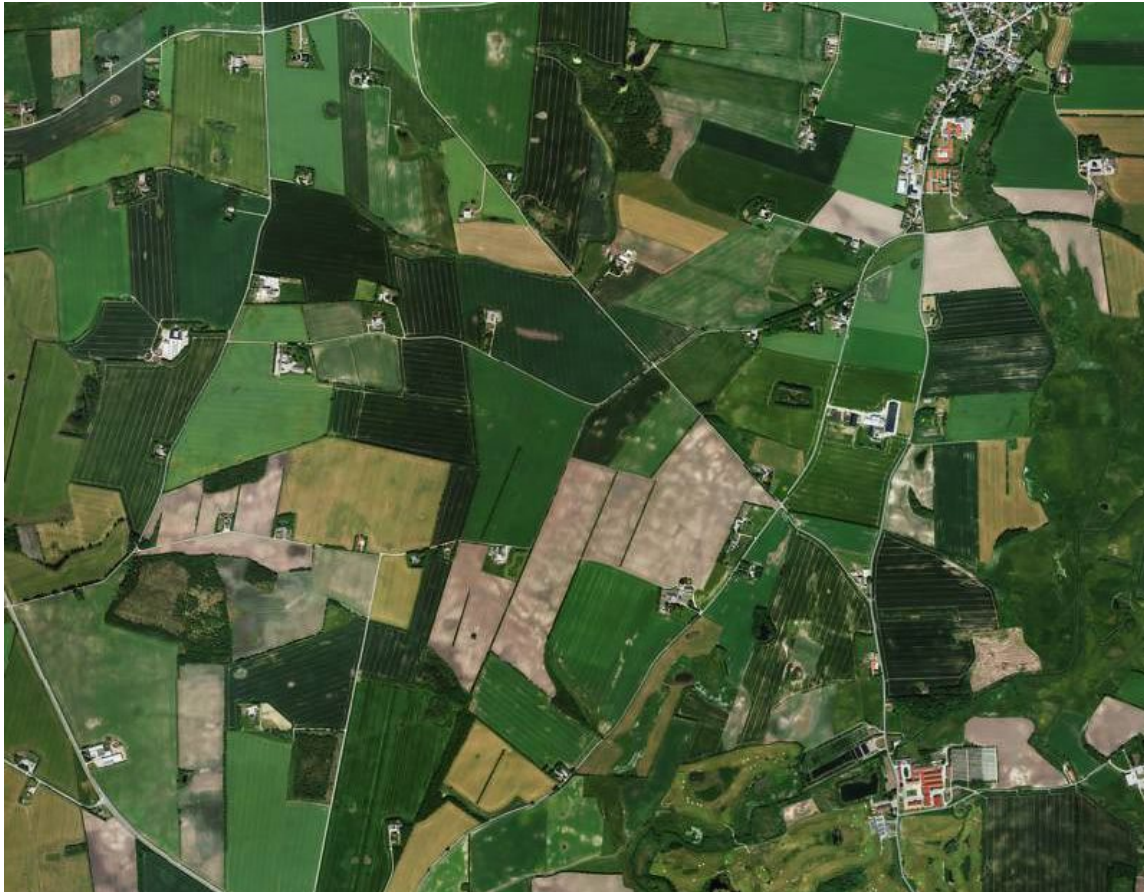


Figur 2.14. Indflydelse af variationskoefficienten ved udspredding af gødning på kvælstofudvaskningen. Beregnet med henholdsvis N-les (blå kurve) og fra en skønnet model (brun kurve).

### 3 OVERLAP VED UDBRINGNING AF HUSDYR- OG HANDELSGØDNING

Med overlap menes i denne forbindelse *utilsigtet overlap* ved spredning af gødning, så en del af arealet får mere gødning end tilsigtet. Ved udspredding af handelsgødning med centrifugalspredere sker spredningen ofte med et *utilsigtet dobbelt overlap*, fordi spredbredden er det dobbelte af køresporafstanden, men spredbilledet betyder, at gødningen udspreddes jævnt.

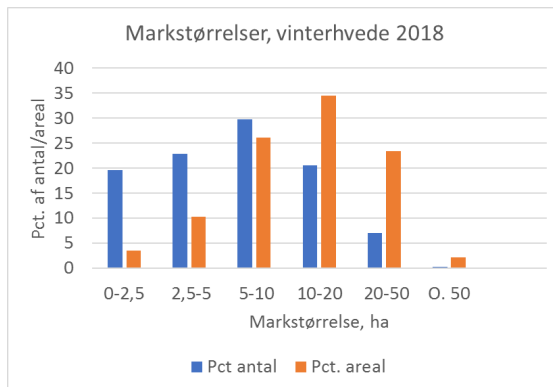
Overlap sker bl.a. fordi markformerne ikke er retvinklede. På billedet (figur 3.1), som er tilfældigt valgt, ses det, at størrelser og former af marker er meget forskellige.



Figur 3.1: Udklip af luftfoto fra et tilfældigt sted i Danmark. ([www.krak.dk](http://www.krak.dk))

Størrelsen af overlap er meget påvirket af markstørrelse og form. I figur 3.2 ses en opgørelse af størrelsesfordelingen for alle vinterhvedemarker i Danmark beregnet ud fra registerdata. Ca. 15 pct. af vinterhvedearealet findes i marker på under 5,0 ha, mens 25 pct. af arealet findes i marker på over 20 ha. En betydelig del af arealet findes i relativt små marker, hvilket vil forøge overlappets størrelse.

Der findes forskellige danske angivelser af overlappets størrelse, men de er baseret på relativt usikre antagelser og rummer ofte ikke både udspredning med bomme og centrifugalspredere. I denne rapport sker vurderingen dels ud fra disse angivelser suppleret med nogle enkelte beregninger ud fra maskinstørrelse, markformer mv. For mere præcist at kunne angive overlappets størrelse bør der gennemføres en egentlig GIS-beregning af alle marker i Danmark, men det ligger uden for rammerne af denne analyse.



Figur 3.2. Fordeling af vinterhvede på markstørrelser i Danmark. Data fra 2018

### 3.1 Overlap ved bomspredere

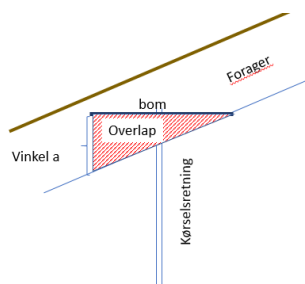
Der er væsentligt forskel på, om gødning udspredes med bomspredere eller med centrifugalspredere. Flydende husdyrgødning udbringes normalt med bomspredere i form af slæbeslangevogne eller med nedfældere. Gødningen fordeles her med slanger/nedfældertænder med ca. 25 cm afstand. Der findes også bomspredere til udbringning af handelsgødning. Her fordeles gødningen typisk gennem spredeaggregater med 1,5-3,0 meters afstand. Ved bomspredere forekommer overlap ved foragere, fordi forageren ikke er vinkelret på plejesporene (se figur 3.3). Overlap kan også forekomme, fordi køresporene ikke passer nøjagtigt med bombredden, og fordi køresporene ikke går op med markbredden. Ved overlap med bomspredere sker der en dobbelt dosering i overlappet.

I kiler og foragre kan landmanden vælge imellem at udbringe dobbelt mængde gødning i overlappene eller vælge ikke at give gødning. Landmanden vil oftest vælge at udbringe dobbelt mængde, hvilket også kan begrundes af økonomiske årsager (se afsnit 2). Landmanden kan også forsøge at minimere overlappene ved at indrette kørselsmønsteret efter det. Derfor vil overlappene i praksis formentligt være mindre end, hvad de teoretiske beregninger ud fra markform viser.

Overlappenes størrelse ved bomspredning afhænger af bommens bredde. Overlap som følge af vinklen mellem køreretningen (vinkel a) afviger fra 90 grader kan for én forager i marken beregnes som:

Tangens (a) x bombredde x markens bredde

Bredden måles vinkelret på kørselsretningen. Overlappets størrelse vokser derfor proportionalt med bommens bredde. Ved at forøge bombredden fra 12 meter til 36 meter, er overlappenes størrelse tredoblet.



Figur 3.3 Skitse af overlap ved spredning med bom ved foragre

I tabel 3.1 er foretaget en beregning af overlappets størrelse ved forskellige vinkler mellem foragre og kørselsretningen, bombredden og længden af marken i forhold til bredden. Det er antaget, at forageren i den modsatte ende ligger vinkelret på kørselsretningen. Overlappets størrelse afhænger udover bombredden og vinklen meget af forholdet mellem længden og bredden af marken.

Tabel 3.1. Beregning af overlap ved forskellig bombredde, vinkler og forhold mellem længde og bredde på marken.

| Længde/bredde    | 1                              |    | 2  |    | 4  |    |
|------------------|--------------------------------|----|----|----|----|----|
| Bombredde, meter | 12                             | 36 | 12 | 36 | 12 | 36 |
| Vinkel           | Pct. areal med dobbelt overlap |    |    |    |    |    |
| 15               | 2                              | 6  | 1  | 2  | 0  | 1  |
| 30               | 3                              | 14 | 2  | 5  | 1  | 3  |
| 45               | 6                              | 24 | 3  | 9  | 2  | 5  |

Overlap forekommer udover ved foragre også, hvis bombredden ikke går op i markens bredde. Det vil være tilfældet, hvis markbredden er bestemt af fysiske afgrænsninger (veje, hegn o.l.). Hvis man derfor spreder i fuld bredde i sidste træk vil der forekomme et overlap på i gennemsnit en halv bombredde. Det er dog muligt ved bomspredere manuelt at lukke den ene side og kun sprede i halv bredde. Derved vil der i gennemsnit kun ske overlap i 25 pct. af bombredden. Ved en bombredde på 36 meter vil overlappet i sidste træk derfor i gennemsnit være 9 meter. Ved en mark med en bredde på 300 meter vil det resultere i et dobbelt overlap på 3 pct.

Hvis markens to længdesider ikke er parallelle vil der være kiler. Det vil yderligere bidrage til overlap. Desuden kan der også ske overlap ved manglende nøjagtighed i start og stop.

Ved udbringning af gødning i voksende afgrøder vil overlappet opstå grundet unøjagtig afstand mellem køresporene. Etableres køresporene med såmaskinen, vil få centimeters overlap med hvert træk med såmaskinen medføre et stort akkumuleret overlap. Overlap med såmaskinen opstår oftest ved upræcis indstilling af markørarme eller ved forkert orientering ved kørsel efter markørspor.

#### *Eksempel:*

Ved 24 meters afstand mellem kørespor, der er etableret med en såmaskine med fire meters arbejdsbredde, udgør hvert kørespor seks træk med såmaskinen. Ved bare fem centimeters overlap mellem de seks træk udgør det samlede overlap mellem køresporene 30 centimeter eller 1,2 pct.

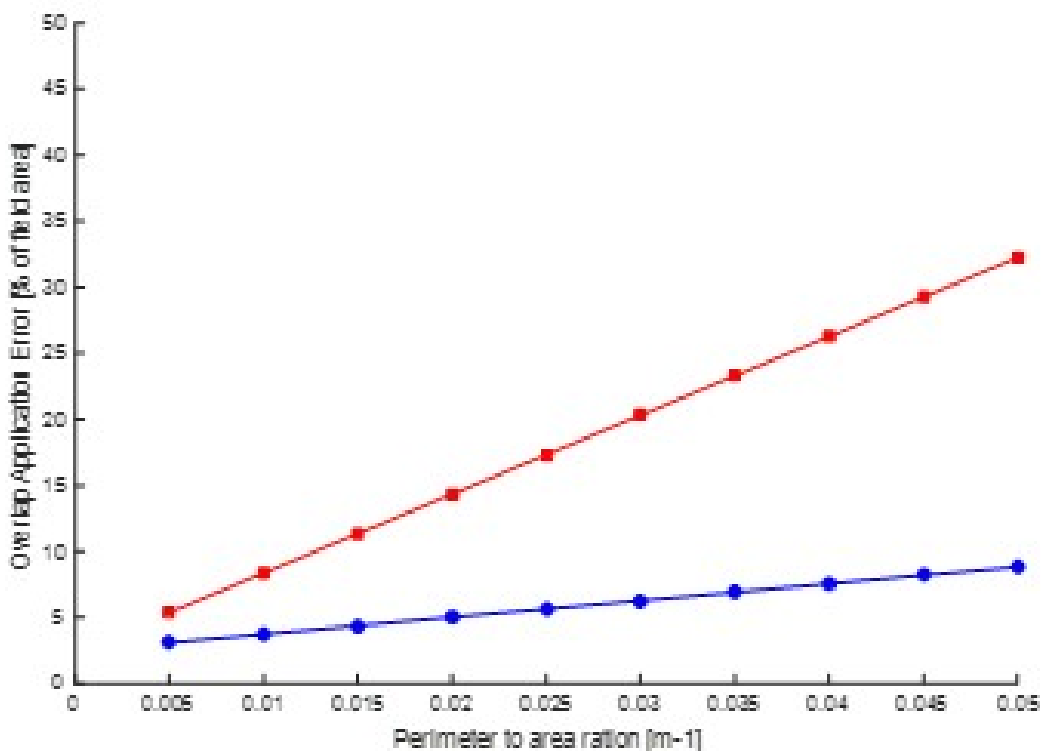
En fordobling af overlappet mellem kørespor er ikke utænkelig, men området er ikke grundigt belyst. SEGES har lavet beregninger på de samlede effekter af anvendelse af RTK-GPS, som er baseret på skøn vurderer, et gennemsnitligt overlap på 5 pct. ved anlæg af kørespor med såmaskine (*Højholdt, M., Lyngvig, H. S., 2015*).

### **3.2 Reduktion af overlap ved udspredding med bom**

Overlap ved udspredding med spredebom kan reduceres ved anvendelse af sektionsoptdelte bomme, der kan lukkes ved foragre kiler mv. Det kan ske manuelt af føreren under udkørsel, eller det kan ske automatisk med GPS. Figur 3.3 viser effekten af automatisk sektionsskontrol sammenlignet med manuel sektionsskontrol.

- X-aksen angiver forholdet mellem omkreds og areal (omkreds divideret med areal). Stigende værdi på X-aksen er altså udtryk for en større samlet omkreds ift. areal. I denne sammenhæng vil X-aksen altså være udtryk for et stigende foragerareal ift. markens samlede areal.
- Y-aksen angiver overlap i procent af markens samlede areal.
- Den blå kurve angiver resultatet for 24,8 meter bomspreder med automatisk sektionskontrol
- Den røde kurve angiver resultatet for 24,8 meter bomspreder med manuel sektionskontrol

Figuren viser altså, at manuel sektionskontrol er årsag til en væsentlig stigning i overlappet, jo mere irregulær markformen er, mens den automatiske sektionskontrol påvirkes væsentligt mindre af markens størrelse og form.



Figur 3.3: Overlap ved hhv. automatisk og manuel sektionskontrol ift. markstørrelse og -form (Luck et al., 2011)

Forsøg udført i Kentucky i 2009 med en bomspreder på 24,8 meter viste en besparelse på mindst 15 pct. ved at anvende automatisk sektionskontrol (30 sektioner) ift. ingen sektionskontrol. (Luck et al, 2009). Samme forsøg viste at opdeling i tre sektioner gav ca. 8 pct. besparelse, mens fem sektioner gav ca. 11 pct. besparelse. Resultaterne i forsøget er baseret på en mark med meget irregulær form, og de gennemsnitlige effekter må dermed forventes at være lavere.

SEGES lavede i 2015 beregninger på effekterne af autostyring med RTK-GPS og sektionskontrol under danske forhold. Reduktionen i overlap må her forventes at komme som konsekvens af, at kørespor etableres med en nøjagtig afstand svarende til bombredden. Her vurderes det, at det samlede overlap ved gødsugning kan reduceres fra gennemsnitligt 5 pct. af arealet til gennemsnitligt 1 pct. Der er altså tale om en reduktion på fire procentpoint (Højholdt, M., Lyngvig, H. S., 2015). Overlappet som følge af unøjagtig afstand mellem køresport kan også reduceres ved at sikre korrekt indstillede markørarme.

### 3.3 Overlap ved spredning af gødning med centrifugalspredere

Langt den største del af handelsgødningen spredes med centrifugalspredere. Gødningen kastes typisk ud i en afstand fra gødningssprederen svarende til 1 spredbredde til hver side. Ca. 10 pct. af kvælstofmængden håndteres dog som flydende gødning, der bringes ud med sprøjtebom.

I modsætning til bomspredere, hvor der er overlap eller ikke overlap, vil spredning med centrifugalspredere give forskellige grader af overlap. Problematikken er det samme som ved bomspredere med hensyn til spredning ved foragre, kiler mv. Det er dog nemmere at regulere udspreddingen ved at ændre dosering, spredbredde mv.

Ved udspredding med centrifugalspredere vil gødningen ikke kunne spredes helt jævnt på tværs af marken. Gødningen skal have en kvalitet, der muliggør spredningen på den aktuelle bredde. Det kan være vanskeligt at indstille sprederen helt korrekt i forhold til den aktuelle gødning, og spredbilledet kan blive påvirket af vinden. Spredjævnheden på tværs af kørselsretningen udtrykkes normalt med en variationskoefficient. En variationskoefficient ved udspredding på under 15 pct. anses som tilfredsstillende. I praksis ses ofte betydeligt højere variationskoefficienter.

#### Mulighed for at reducere overlap ved udspredding med centrifugalspredere

Moderne gødningsspredere er udstyret med sektionskontrol, som betyder, at spredbilledet deles op i sektioner, der kan lukkes separat, og som dermed begrænser overlappet væsentligt. Sektionskontrol kan kontrolleres manuelt af traktorføreren eller automatisk ved hjælp af GPS, på samme måde som ved start og stop i retvinklede foragre.

### 3.4 Vurdering af det samlede overlap

Ud fra forskellige angivelser i litteraturen og ovenstående betragtninger må det antages, at overlappet ved udspredding af kvælstof udgør ca. 5 pct. af arealet. I dette overlap antages det, at der udspreddes dobbelt mængde gødning. Antagelsen er dog behæftet med stor usikkerhed, men vil med rimelig stor sikkerhed ligge inden for 2-10 pct. Det antages samtidig at variationskoefficienten på resten af udspreddingsarealet er 20 pct. Denne antagelse er ligeledes behæftet med stor usikkerhed, men vurderes at ligge indenfor intervallet 10-30 pct.

## 4 TILFØRSEL AF KVÆLSTOF EFTER AFGRØDENS BEHOV PÅ MARKNIVEAU OG POSITIONSNIVEAU

For at minimere kvælstofudvaskningen og forøge udbyttet er det vigtigt, at kvælstof tilføres ud fra behovet i den enkelte mark. På grundlag af forsøg med stigende mængder kvælstof i vinterhvede, hvor forskellige metoder til fastlæggelse af kvælstof behov er afprøvet, blev det beregnet, at udbyttet kunne hæves med 1,5 hkg pr. ha, hvis kvælstof blev tildelt netop i den mængde, der var optimal i det enkelte forsøg. Det fremgår af tabel 4.1. Fastsættes kvælstofbehovet i hvert enkelt forsøg ud fra en detaljeret beregning fra jord- og dyrkningsoplysninger herunder udbyttet, som der normalt anvendes i gødningsplanlægningen, kan udbyttet forbedres med 0,8 hkg pr. ha i forhold til at give en ensartet mængde. Hvis modellen til beregning af kvælstofbehov kan forbedres til netop at ramme den optimale kvælstofmængde kan udbyttet øges yderligere 0,6 hkg pr. ha.

*Tabel 4.1. Tildeling af den optimale kvælstofmængde i hvert enkelt forsøg, tildeling af samme kvælstofmængde i alle forsøg og tildeling af kvælstof ud fra et beregnet kvælstofbehov ud fra jord- og dyrkningsoplysninger. 83 forsøg i vinterhvede 2014-2018.*

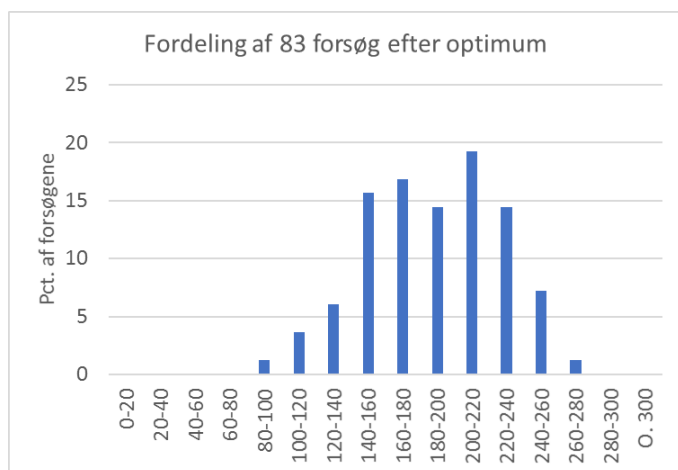


### Oversigt over Landsforsøgene 2018.

| Beskrivelse af model           | Tildeling af den optimale kvælstofmængde i hvert enkelt forsøg | Tildeling af samme kvælstofmængde alle forsøg | Tildeling ud fra beregnet behov |
|--------------------------------|--|---|---------------------------------|
| Parametre i model              | Ingen  | Ingen   | Beregnet behov                  |
| Korrelationskoefficient, $R^2$ | -  |   | 0,37                            |
| Standardfejl, kg N pr. ha      | -  |   | 32,0                            |
| Merudbytte, hkg pr. ha         | 44,3   | 42,8  | 43,6                            |

Udbyttetigningen ved en mere præcis behovsbestemmelse er derfor relativ beskedent. Men da omkostningerne ved at foretage denne præcise behovsbestemmelse er begrænsede, vil der alligevel være god økonomi i at gøre det.

Spredningen i kvælstofbehovet mellem de 83 forsøg fremgår af figur 4.1. Spredningen er beregnet til en variationskoefficient på 24 pct.



Figur 4.1 Fordeling af 83 forsøg i vinterhvede 2014-2018 efter optimum

Effekten på kvælstofudvaskningen kan anslås ud fra figur 2.14, hvor udvaskningsreduktionen er vist som funktion af variationskoefficienten på kvælstoftilførsel. Her ses, at en reduktion i variationskoefficienten fra 30 til 0 pct. giver en reduktion i udvaskningen på ca. 1,0 kg pr. ha. Forsøgene i vinterhvede viser en variationskoefficient på 24 pct. og den nuværende model til beregning af kvælstofbehov kan forklare en del af variationen. Derfor kan det antages, at hvis kvælstofbehovet i den enkelte mark kan rammes mere præcist vil reduktionen i udvaskning være 0,5 til 1,0 kg kvælstof pr. ha.

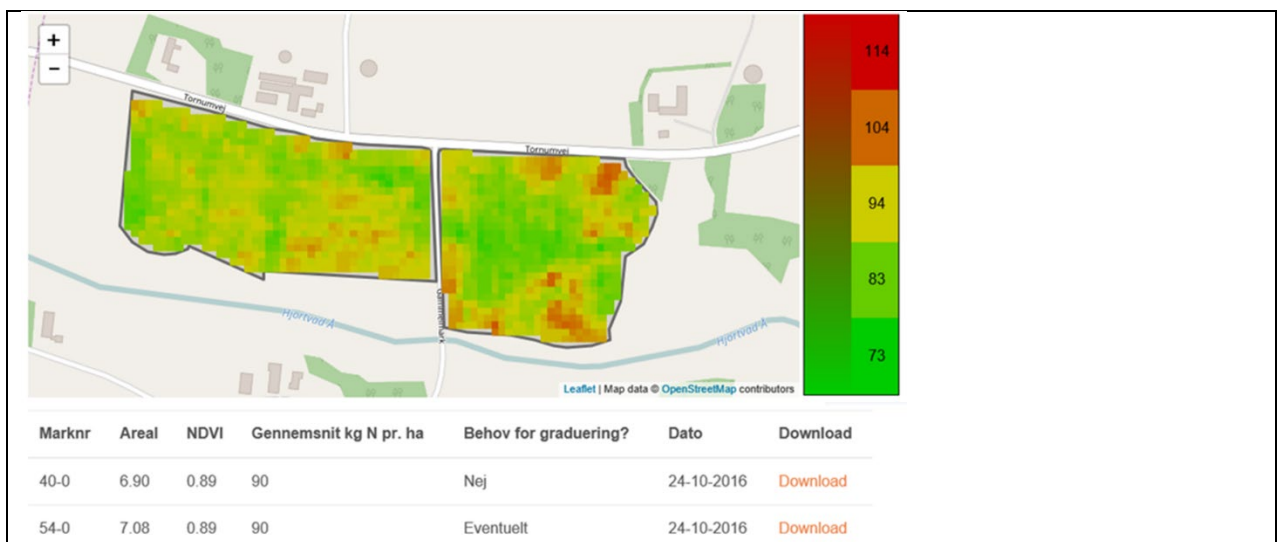
#### 4.1 Postionsbestemt tilførsel af kvælstof i handelsgødning

Undersøgelser på en svineproduktionsejendom i Nordjylland viste, at kvælstofbehovet varierede mere indenfor marken end mellem marker (Knudsen et. al., 2008). Variationen indenfor markerne blev bestemt til en spredning på 35 kg kvælstof pr. ha svarende til en variationskoefficient på 18 pct.

I de sidste 10-20 år har det været muligt at variere kvælstoftilførslen inden for marken direkte "on-the go" efter f.eks. Yara-N-Sensor eller efter elektroniske tildelingskort. Omfordelingen af kvælstof indenfor marken

bygger normalt på målinger af afgrødens reflektans af lys. Denne reflektans kan udtrykkes i forskellige indekser som f.eks. NDVI, som er tæt forbundet til biomassen og kvælstofoptagelsen. En lang række forsøg ved SEGES viser, at omfordeling af kvælstof skal ske fra områder i marken med høj biomasse til områder med lav biomasse (Pedersen, 2017 og Berntsen, 2006). Det skyldes, at den høje biomasse findes i områder i marken, hvor jorden frigør mere kvælstof til afgrøden end i områder med lav biomasse. Biomassen kan dog blive så lav, at afgrøden ikke kvitterer for kvælstof, hvorfor kvælstoftildelingen i disse områder skal begrænses. Ved bestemmelse af kvælstofbehovet kan biomassemålinger suppleres med kortlægning af jordbundsvariationen og/eller udbyttepotentialet. Resultater fra forsøgene viser dog, at biomassemålinger forklarer den største del af variationen i udbytteresponsen, og derfor kan anvendes alene i de fleste marker (Berntsen, 2006).

Tildeling af kvælstof ud fra målinger af biomasse har siden 2000 været muligt med Yara-N-Sensor. Sensoren er monteret på toppen af traktorførerhuset, og beregningen af tildelingen og efterfølgende udspredning sker samtidigt under kørslen, så flere overkørsler ikke er nødvendige (on-the-go). Siden 2016 har der været gratis satellitbilleder til rådighed fra den EU-opsendte satellit Sentinel II. Med Sentinel II måles en række af de reflekterede båndbredder, hvorfra forskellige biomasse indekser kan beregnes. SEGES indgik i 2016 et samarbejde med Landbrugsstyrelsen om at udarbejde en dansk version af et svensk udviklet system til udarbejdelse af tildelingskort. Systemet kaldes CropSat og er tilgængeligt på CropSat.dk, hvor brugeren gratis kan hente satellitkort for alle marker (Hørfarter, 2016). Brugeren kan selv ud fra biomassekortet udarbejde et elektronisk tildelingskort. I 2018 er programmet udbygget med en facilitet, hvor tildelingskortene i vinterhvede og vinterraps kan beregnes automatisk ud fra biomassen. SEGES har i 2017 og 2018 gjort det muligt for landmænd at hente tildelingskort beregnet ud fra biomasse direkte via Landmand.dk, der kan overføres til gødningssprederen (se figur 4.2). SEGES udvider faciliteterne til udarbejdelse af elektroniske udbyttekort i form af programmet CropManager, der er en overbygning til MarkOnline, der bruges til gødningsplanlægning på 80-85 pct. af landbrugsarealet. Erfaringerne fra praksis er, at hvis positionsbestemt tildeling af kvælstof skal blive almindeligt, skal udarbejdelsen af tildelingskort rationaliseres.



Figur 4.2. Eksempel på tildelingskort i vinterraps udsendt af SEGES i februar 2017. Forslaget til kvælstofmængde og omfordeling bygger på variationen i biomasse i efteråret 2016. Ud fra variationen i biomassen beregnes også, om der er behov for graduering af gødningstilførslen.

Positionsbestemt tilførsel af kvælstof vil forøge udbyttet ved anvendelse af den samme kvælstofmængde, som ved ensartet tildeling. Vurderet ud fra landsforsøg og litteraturen vil denne gevinst formentlig være i

niveauet 1 hkg pr. ha i marker med en betydelig variation. Teknikken vil derfor ikke flytte udbyttet afgørende. Det betyder også, at skal der være en gevinst for landmanden skal udarbejdelse af tildelingskort, positionsbestemt spredning mv. ikke være væsentligt dyrere end den traditionelle ensartede tildeling (Knudsen, 2011).

Vurdering af indflydelsen på udvaskningen kan ske ud fra figur 2.14. Kan variationskoefficienten i kvælstofbehovet indenfor marken reduceres fra de fundne 18,5 pct. til nær 0 ved at tildele kvælstof positionsbestemt, kan udvaskningen reduceres med 0,5-1 kg kvælstof pr. ha. Delin et. al. (2015) angiver en variation i effekten af positionsbestemt tilførsel af kvælstof på 0,2-3,8 kg kvælstof pr. ha. Mindst på svære lerjorder og størst på jorde med under 5 pct. ler. Ved samme variationskoefficient i kvælstofbehovet indenfor marken som fundet i danske undersøgelser (18,5 pct.) angives udvaskningsreduktionen til 1,4-1,7 kg kvælstof pr. ha, hvilket er højere end den udvaskningsreduktion på 0,5-1 kg kvælstof pr. ha, der er angivet ud fra figur 2.14. En større udvaskningsreduktion kan formentlig opnås, hvis tildelingsalgoritmen tager hensyn til variationen i jordtype og reducerer tildelingen på de mest sandede områder i marken, hvor udvaskningen er størst.

## 4.2 Mere præcis værdisætning af kvælstof tilført med husdyrgødning

Ved tilførsel af kvælstof i handelsgødning kender man den udbragte mængde, indholdet af kvælstof i gødningen og kvælstofvirkningen ret præcist. Ved udbringning af husdyrgødning kender man den udbragte mængde af husdyrgødning ret præcist, men der kan derimod være en stor variation på indholdet af kvælstof og virkningen af den udbragte kvælstofmængde. Det kan give en stor usikkerhed og dermed en stor usikkerhed på den udbragte mængde kvælstof i forhold til kvælstofbehovet i marken.

Den udbragte mængde husdyrgødning opgøres normalt ved at tælle antal læs udbragt i marken eller beregne mængden, efter hvor meget gylle, der er taget fra gyllebeholderen. I dag har de fleste gyllevogne et flowmeter, der giver mulighed for at angive mængden mere præcist eller angive mængden udbragt på hver position i marken. Der arbejdes på systemer til automatisk at opsamle disse data og overføre dem automatisk til MarkOnline.

Indholdet af kvælstof i husdyrgødning beregnes som udgangspunkt ud fra normtal. Normtal for husdyrgødning bygger på, at man kender indholdet af næringsstoffer i foderet, bortførsel af næringsstoffer i kød, mælk og værdier for kvælstoftab i stald og lager. Reglerne om landbruges areal- og gødningsanvendelse kræver, at normtallene skal anvendes eller alternativt korrigeres for en dokumenteret anderledes fodring på den enkelte bedrift. Mængden af husdyrgødning beregnes ligeledes ud fra normtal. I praksis varierer mængden af husdyrgødning meget specielt, fordi vandforbruget både i fodringen og til rengøring varierer meget. Det betyder, at der på den enkelte bedrift kan være store afvigelser i den faktiske koncentration af næringsstoffer i forhold til de beregnede. Den samlede mængde næringsstoffer på bedrifterne må antages at afvige mindre fra normtal end koncentrationen af næringsstoffer.

For at tilrette gødningsplanen til de faktiske koncentrationer af næringsstoffer i de enkelte gødningslagre, kan landmanden bestemme indholdet ved at udtage husdyrgødningsanalyser. Dette bruges udbredt i praksis men langt fra i alle gødningslagre. Der findes udstyr til måling af næringsstofkoncentration i gylle løbende under udbringning med sensorteknologi. Det er dog i dag kun monteret på ganske få gyllevogne og metoden vurderes ikke at være præcis nok. En af årsagerne til at gylleanalyser ikke bruges mere er, at det er besværligt at rette gødningsplanen til, og at man alligevel skal overholde kvoterne i gødningsreglerne. Men både et projekt på en stor svineejendom i Nordjylland (Knudsen et. al, 2011) og pilotprojektet for præ-

cisionsjordbrug i 2018 viser, at der er stort potentiale i at kende den udbragte mængde kvælstof i husdyrgødning bedre (Thierry and Knudsen, 2019). I ni gylletanke på svineejendommen i Nordjylland varierede indholdet målt med gylleanalyse fra 1,0 mindre til 1,8 kg kvælstof pr. ton mere end beregnet fra normtal. Udgangspunktet var et indhold beregnet efter normtal på 4,4 til 4,6 kg pr. ton beregnet ud fra normtallene. Det indikerer, at på sådan en ejendom kan variationskoefficienten på forskellen mellem planlagt og faktisk udbragt kvælstof være 30 procent.

Effekten af det udbragte kvælstof i husdyrgødning kan variere meget. Det gælder specielt for overfladeudbragt kvælstof til vintersæd, hvor der kan ske en større eller mindre fordampning af ammoniak efter udbringning. Variationen i effekten af kvælstof i husdyrgødning vil være mindre for nedfældet gylle eller for suret gylle. En opgørelse af udnyttelsesprocenten og variationskoefficienten blev foretaget i 1996. Her viste 61 forsøg, hvor svinegylle blev tilført i april med slæbeslanger, en gennemsnitlig udnyttelse på 60 pct. men med en variationskoefficient på 38 procent. (Pedersen, C.Å., 1997). En del af variationen kan der tages højde for allerede ved gødningsplanlægningen vinteren forud for udspreddning. Her bruges i gødningsplanprogrammet MarkOnline en beregning, der resulterer i en forventet udnyttelsesprocent baseret på gylletype, afgrøde, udbringningstidspunkt og -teknik. Denne beregningsfacilitet er i 2018 udvidet med en netbaseret model, hvor udnyttelsesprocenten ud over samme parametre og inddrager de klimatiske forhold før og efter udbringning. Programmet kan kaldes på [www.gylleeffekt.dlbr.dk](http://www.gylleeffekt.dlbr.dk) og er gratis for brugeren.

Manglende overensstemmelse mellem normtal og det faktiske indhold af kvælstof i husdyrgødning kan jf. ovenstående resultere i en variationskoefficient på den udbragte mængde kvælstof på 25 pct. Dertil kommer en variationskoefficient på effekten af kvælstof på op mod 40 pct. Hvis det antages, at den samlede variationskoefficient er 50 pct. og den kan nedbringes til 20 pct. ved at anvende gylleanalyser og detaljerede beregningsværktøjer for at ansætte effekten præcist vil det resultere i en udvaskningsreduktion på 2-3 kg kvælstof pr. ha. Samtidig vil udbyttet jf. figur 2.6 kunne øges med 2 hkg pr. ha.

## **5 EFFEKT AF JÆVN FORDELING AF HANDELS- OG HUSDYRGØDNING OG TILFØRSEL I FORHOLD TIL BEHOVET PÅ UDLEDNINGEN AF KLIMAGASSER**

I kapitel 2 er beregnet et niveau for påvirkning af udbytte, kvælstofbalance og udvaskning ved en ensartet fordeling af handels- og husdyrgødning på arealet. I kapitel 3 er foretaget en vurdering af, hvor stort et overlap (dobbel mængde gødning) og hvor stor variationskoefficienten er ved udspreddning af gødning.

Vurderingen er baseret på, at der anvendes samme mængde kvælstof før og efter eliminering af den uens fordeling. Dette er valgt, fordi alle anbefalinger og normer bygger på parcellforsøg, hvor tildelingen af kvælstof er ensartet. Det betyder, at der specielt i marken med overlap tilføres mindre kvælstof på resten af marken, end hvad der er optimalt for afgrøden. Eliminering af overlap resulterer derfor ikke i en reduktion i den tilførte kvælstofmængde, men i et højere udbytte. Det samme er tilfældet med variationskoefficienten.

Effekterne i kapitel 2 er beregnet ud fra vårbyg, hvor behovet for kvælstof var 100 kg kvælstof pr. ha. Kvælstoftildelingen er i gennemsnit større. I den følgende opskalering regnes effekten ud fra, at den er proportional med kvælstofforbruget (af udnyttet kvælstof).

Der er gennemregnet forskellige scenarier ved forskellige antagelser af overlaps og variationskoefficienters størrelse. Scenarieberegninger er gennemført for at vise det mest sandsynlige udfaldsrum for effekten.

Tabel 5.1. Beregning af samlet ændring i forhold til ensartet spredning af kvælstof ved forskellig grad af overlap med dobbelt tilførsel og variationskoefficient ved udspredning. Pr. 100 kg kvælstof (effektiv kvælstof).

| Overlap, pct.                           | 0 | 5    | 5    | 10   | 15   |
|---|---|------|------|------|------|
| Variationskoefficient, pct.             | 0 | 10   | 20   | 20   | 30   |
| <u>Fra Overlap</u>                      |   |      |      |      |      |
| Udbytte, hkg                            | 0 | -0,7 | -0,7 | -1,4 | -2,2 |
| Kvælstofbalance, kg N                   | 0 | 0,6  | 0,6  | 1,2  | 2,0  |
| Kvælstofudvaskning, N-les, kg N         | 0 | 0,7  | 0,7  | 0,8  | 0,9  |
| Kvælstofudvaskning, skønnet model, kg N | 0 | 1,9  | 1,9  | 3,8  | 5,7  |
| <u>Fra variationskoefficient</u>        |   |      |      |      |      |
| Udbytte, hkg/ha                         | 0 | -0,2 | -0,6 | -0,6 | -1,3 |
| Kvælstofbalance, kg N                   | 0 | 0,1  | 0,5  | 0,5  | 1,2  |
| Kvælstofudvaskning, N-les, kg N         | 0 | 0,1  | 0,5  | 0,5  | 1,0  |
| Kvælstofudvaskning, skønnet model, kg N | 0 | 0,1  | 0,4  | 0,4  | 1,1  |
| <u>I alt:</u>                           |   |      |      |      |      |
| Udbytte, hkg                            | 0 | -0,9 | -1,3 | -2,0 | -3,5 |
| Kvælstofbalance, kg N                   | 0 | 0,7  | 1,1  | 1,8  | 3,2  |
| Kvælstofudvaskning, N-les, kg N         | 0 | 0,8  | 1,2  | 1,2  | 1,9  |
| Kvælstofudvaskning, skønnet model, kg N | 0 | 2,0  | 2,3  | 4,2  | 6,8  |

I praksis kan man ikke undgå overlap og variationen i udspremt gødning fuldstændigt. Hvis det antages, at overlap kan minimeres til 2 procent og variationskoefficienten til 10 pct. er der i tabel 4.2 angivet, et henholdvist lavt og højt skøn for ændringer i udbytte, balance og udvaskning. Det lave skøn er baseret på en antagelse om, at det nuværende overlap udgør 5 procent af arealet og variationskoefficienten ved udspremt gødning er 20 procent. Det høje skøn er tilsvarende baseret på, at den nuværende praksis har et overlap på 10 pct., og en variationskoefficient ved udspremt gødning på 30 procent. Variationen i angivelsen af effekt på udvaskning er desuden baseret på forskellen i beregning med N-les og den skønnede model. Derfor er variationsbredden for effekt på udvaskning større end for de andre parametre.

Tabel 5.2. Skøn over ændring i udbytte, kvælstofbalance og udvaskning ved minering af overlap og variationskoefficient. Angivet pr. 100 kg udspremt kvælstof (effektivt N).

| Skøn                            | Lavt | Højt |
|---------------------------------|------|------|
| Udbytte, hkg,,                  | 0,8  | 2,2  |
| Kvælstofbalance, kg N           | -0,7 | -2,0 |
| Kvælstofudvaskning, N-les, kg N | -0,7 | -3,9 |

Effekterne kan skaleres op på landsplan ud fra mængden af kvælstof i handelsgødning og husdyrgødning. Forbruget af kvælstof i handelsgødning var på ca. 230.000 ton i 2017, og mængden af totalkvælstof i husdyrgødning var tilsvarende 220.000 ton. Regnes med en udnyttelsesprocent af kvælstof i husdyrgødning på 70 pct. svarer dette til udspremt af 384.000 ton effektivt kvælstof.

Tabel 5.3. Skøn over effekten på landsplan af mindre overlap og mindre variationskoefficient ved udspremt af husdyr- og handelsgødning.

| Skøn                      | Lavt    | Højt    | Procent |
|---------------------------|---------|---------|---------|
| Udbytte, ton              | 300.527 | 833.734 | +(2-5)  |
| Kvælstofbalance, ton N    | -2.588  | -7.604  | -(1-3)  |
| Kvælstofudvaskning, ton N | -2.810  | -14.976 | -(2-9)  |

Effekten af at reducere overlap og variationskoefficient vil ifølge opgørelsen resultere i en stigning i udbyttet svarende til 2-5 procent. Kvælstofudvaskningen reduceres tilsvarende fra 2-9 procent.

Hvis man i stedet for at anvende den kvælstof, som gives ekstra i overlap til udspredding i resten af marken, reducerede kvælstofforbruget, vil dette resultere i en besparelse af kvælstof i størrelsesordenen 10.000 – 30.000 ton kvælstof baseret på at overlap vil reduceres fra hhv. 5 til 2 procent og fra 10 til 2 procent.

### 5.1 Effekt af mere præcis tilførsel af kvælstof i handels- og husdyrgødning i forhold til behovet

I afsnit 4 er beregnet effekten af en mere præcis tilførsel af kvælstof i handels- og husdyrgødning i forhold til afgrødernes behov. Beregningen bygger på den antagelse, at der forbruget af kvælstof i handels og husdyrgødning er uændret, og det alene er effekten af en mindre variationskoefficient, som beregnes. Dette er samlet i tabel 5.4 og opskaleret til landsplan.

| Vurdering   | Pr. ha           |     | Landsplan       |         |         |
|---|------------------|-----|-----------------|---------|---------|
|   | Lav              | Høj | Areal, ha       | Lav     | Høj     |
|   | Udbytte, hkg     |     | Udbytte, ton    |         |         |
| Mere præcis fastsættelse af behovet for kvælstof                | 0,5              | 1,0 | 1.500.000       | 75.000  | 150.000 |
| Positionsbestemt tilførsel af kvælstof.                         | 0,0              | 1,0 | 1.500.000       | 0       | 150.000 |
| Præcis indregning af tilført effektivt kvælstof i husdyrgødning | 1,0              | 2,0 | 1.000.000       | 100.000 | 200.000 |
| I alt   | 1,5              | 4,0 |                 | 175.000 | 500.000 |
|   | Udvaskning, kg N |     | Udvaskning, ton |         |         |
| Mere præcis fastsættelse af behovet for kvælstof                | 0,5              | 1,0 | 1.500.000       | 750     | 1.500   |
| Positionsbestemt tilførsel af kvælstof.                         | 1,0              | 3,0 | 1.500.000       | 1.500   | 4.500   |
| Præcis indregning af tilført effektivt kvælstof i husdyrgødning | 2,0              | 3,0 | 1.000.000       | 2.000   | 3.000   |
| I alt   | 3,5              | 7,0 |                 | 4.250   | 9.000   |

Ved opskaleringen til landsplan er antaget, at mere præcis fastsættelse af kvælstofbehovet kun gælder for korn og raps. Det samme gælder positionsbestemt tilførsel af kvælstof. Den samlede effekt på udbyttet skønnes at være fra 175 – 500,000 ton pr. år svarende til en udbytteforøgelse på 2-5 procent. Reduktionen i udvaskningen svarer ligeledes til en reduktion på 2-5pct.

### 5.2 Effekt på klimagasudledning

Effekten af jævn fordeling af handels- og husdyrgødning og mere præcis tilførsel af kvælstof i forhold til behovet på emission af drivhusgasser kan beregnes dels efter territorialprincippet, som også anvendes i forbindelse med det nationale drivhusgasregnskab, og efter LCA-principper, der anvendes, når der ønskes en opgørelse pr. produkt (produceret enhed). Det er forudsat, jf. afsnit 5.0 og 5.2, at en jævn fordeling af handels- og husdyrgødning ikke medfører nogen ændring i det samlede forbrug af kvælstof i handels- og husdyrgødning. Den eneste klimaeffekt i forhold til en opgørelse efter territorialprincippet ligger da i en reduceret emission af lattergas som følge af en mindre kvælstofudvaskning. Det er beregnet, jf. tabel 4.2, at kvælstofudvaskningen reduceres med 0,7 kg N pr. 100 kg N udbragt (effektiv N) ved lavt scenarie og med 3,9 kg N pr. 100 kg N udbragt (effektiv N) ved højt scenarie. På landsplan svarer det til 2.810 ton N og 14.976 ton N ved henholdsvis lavt og højt scenarie. Tillægges det effekten af mere præcis bestemmelse af kvælstof

stofbehovet, positionsbestemt tilførsel af kvælstof i handelsgødning og mere præcis fastsættelse af den udbragte effektive kvælstofmængde i husdyrgødning fås henholdsvis en reduktion i udvaskningen på ca. 7.000 og 24.000 ton kvælstof.

Emission af lattergas fra udvaskning af nitrat beregnes disaggregeret for udvaskning til henholdsvis grundvand (inkl. dræn), vandløb og kystvand. Emissionsfaktoren er for hvert af de tre trin i transporten af nitrat fra rodzone til kystvand 0,0025 kg N<sub>2</sub>O-N/kg N. Den kombinerede emissionsfaktor for kvælstofudvaskning fra rodzonen kan da med udgangspunkt i den gennemsnitlige kvælstofretention i henholdsvis grundvand og overfladevand beregnes således som gennemsnit for hele landet (0,0025\*100 %) + (0,0025\*42,4 %) + (0,0025\*32,5 %) = 0,0044. Det er endvidere forudsat, at udledning af 1 kg N<sub>2</sub>O har en drivhuseffekt svarende til 296 kg CO<sub>2</sub>. Den potentielle klimaeffekt på landsplan ved jævn spredning af al handels- og husdyrgødning er da 13.000 ton CO<sub>2</sub>-ækv. ved lavt scenarie og 49.100 ton CO<sub>2</sub>-ækv. ved højt scenarie. Det svarer til henholdsvis 5,4 og 18,9 kg CO<sub>2</sub> pr. ha i gennemsnit. Til sammenligning kan nævnes, at den samlede emission af drivhusgasser ved dyrkning af f.eks. vinterhvede er ca. 1.500 kg CO<sub>2</sub>-ækv. pr. ha opgjort efter territorialprincippet. Klimapotentialet ved jævn fordeling af handels- og husdyrgødning er således relativt beskedent. Olesen (2018) opgør effekten af præcisionsjordbrug til en reduktion på 18-36 CO<sub>2</sub>-ækv. pr. ha, hvilket er lidt højere end i denne analyse. Forskellen er, at Olesen(2018) regner med en reduktion i gødningsforbruget på 2-4 pct.

Når klimaeffekten opgøres pr. produkt, så har både effekten på udbyttet og effekten på kvælstofudvaskningen betydning. I det følgende anvendes vinterhvede som eksempel. Det er forudsat, at der anvendes 200 kg N pr. ha og at udbyttet med overlap ved gødningsudbringningen er 80 hkg pr. ha. Jf. tabel 4.2 og 4.3 kan der forventes et merudbytte på 4,3 hkg pr. ha ved lavt scenarie og 9,2 hkg pr. ha ved højt scenarie. Det svarer til henholdsvis 5,4 og 11,5 % i merudbytte. Den samlede klimapåvirkning ved dyrkning af vinterhvede er ca. 4.000 kg CO<sub>2</sub>-ækv. pr. ha opgjort efter LCA-principper. Klimaeffekten af reduceret kvælstofudvaskning udgør 5,4 kg CO<sub>2</sub>-ækv. pr. ha vinterhvede ved lavt scenarie og 18,9 kg CO<sub>2</sub>-ækv. pr. ha ved højt scenarie. Klimabelastningen pr. ha vinterhvede reduceres således med henholdsvis 0,3 % og 1,0 %. Det er således næsten kun det øgede udbytte, der påvirker klimabelastningen pr. produceret enhed. Jævn fordeling af handels- og husdyrgødning i vinterhvede kan reducere udledningen af drivhusgasser pr. produceret enhed med 6,7 % ved lavt scenarie og med 12,5 % ved højt scenarie.

**Kilder:**

Berntsen, J., Thomsen, A., Schelde, K., Hansen, O.M., Knudsen, L., Broge, N., Hougaard, H., Hørfarter, R. (2006): Algorithms for sensor-based redistribution of nitrogen fertilizer in winter wheat. Precision Agric. (2006) 7: 65-83

Birkmose, T. og Hørfarter, R. (2018): SEGES laver N-tildelingskort til 12.500 marker med vinterraps. Landbrugsinfo, SEGES, [https://www.landbrugsinfo.dk/Planteavl/Praecisionsjordbrug-og-GIS/Sider/pl\\_18\\_3659\\_ap5\\_Kvaelstoftildeling\\_i\\_Landmand.aspx](https://www.landbrugsinfo.dk/Planteavl/Praecisionsjordbrug-og-GIS/Sider/pl_18_3659_ap5_Kvaelstoftildeling_i_Landmand.aspx)

Delin, S., Stenberg, M. (2014): Effect of nitrogen fertilization on nitrate leaching in relation to grain yield response on loamy sand in Sweden

Delin, S., Gruvaeus, I., Wetterlind, J., Stenberg, M., Frostgård, G., Börling, K., Olsson, C.M., Krijger, A-K., (2015): FERTILISATION FOR OPTIMISED YIELD CAN MINIMISE NITRATE LEACHING IN GRAIN PRODUCTION. Proceeding 774, International Fertiliser Society

Gyldengren, J. (2018): Pers. komm.

Hvid, S.K. (2015): Kalkule Mark nu i version 2.0. Landbrugsinfo

Højholdt, M., Lyngvig, H. S., 2015: Reduktion af brændstofforbruget med RTK-GPS

Hørfarter, Rita (2016): Satellit billeder og CropSAT. Landbrugsinfo, SEGES. [https://www.landbrugsinfo.dk/Planteavl/Praecisionsjordbrug-og-GIS/Sider/pl\\_16\\_2895\\_2439.aspx](https://www.landbrugsinfo.dk/Planteavl/Praecisionsjordbrug-og-GIS/Sider/pl_16_2895_2439.aspx)

Knudsen, L., Hørfarter, R., Davidsen, K.A., og Andersen, J.E. (2011): Sensorbaseret tilførsel af kvælstof på fremtidens husdyrbrug. SEGES. [https://www.landbrugsinfo.dk/.../pl\\_po\\_11\\_061\\_rapport\\_Sensorbaseret\\_tilfoersel.pdf](https://www.landbrugsinfo.dk/.../pl_po_11_061_rapport_Sensorbaseret_tilfoersel.pdf)

Knudsen, L., Hansen, M.N. og Petersen, N. (2018): Beregn den aktuelle effekt af din gylle. Landbrugsinfo, SEGES. [https://www.landbrugsinfo.dk/Planteavl/Goedskning/Husdyrgoedning/Udbringning/Sider/pl\\_pn\\_18\\_3176\\_plantenyt\\_gylle\\_it.aspx](https://www.landbrugsinfo.dk/Planteavl/Goedskning/Husdyrgoedning/Udbringning/Sider/pl_pn_18_3176_plantenyt_gylle_it.aspx)

Luck et al, 2009: Potential for pesticide and nutrient savings via map-based automatic boom section control of spray nozzles

Luck et al., 2011: A Case Study to Evaluate Field Shape Factors for Estimating Overlap Errors with Manual and Automatic Section Control

Olesen, J.E., Petersen, S.O., Lund, P., Jørgensen, U., Kristensen, T., Elsgaard, L., Sørensen, P., Lassen, J. (2018): VIRKEMIDLER TIL REDUKTION AF KLIMAGASSER I LANDBRUGET, DCA RAPPORT NR. 130 · SEPTEMBER 2018

Pedersen, C.Å. (red.) (1997): Oversigt over Landsforsøgene 1996. Landsudvalget for Planteavl.

Pedersen, M.F. og Pedersen, M. (2018): Erhvervsøkonomiske gevinster ved anvendelse af præcisionslandbrug. IFRO Udredning, Nr. 2018/02



Thierry,A.M and Knudsen,L. (2019): Experiences from a pilot scheme introducing precision agriculture as a regulation instrument (In press).

